

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Кудря С.О.
«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Нетрадиційні та відновлювані
джерела енергії»
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
на тему: «Автономне енергозабезпечення приватного будинку за рахунок
комбінованої сонячно-водневої системи»**

Виконала:

Студентка VI курсу, групи ЕД- 91мп

Бурмельова Анастасія Сергіївна

Науковий керівник:

Доцент, кандидат технічних наук

Кириленко Катерина Всеволодівна

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Степан КУДРЯ
«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Бурмелювій Анастасії Сергіївні

1. Тема дисертації: «Автономне енергозабезпечення приватного будинку за рахунок комбінованої сонячно-водневої системи», науковий керівник дисертації Кириленко Катерина Всеволодівна, к. т. н., доцент, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2020 р. № 3260-с.
2. Термін подання студентом дисертації: «17» грудня 2020 р.
3. Об'єкт дослідження: система енергетичного забезпечення електроенергії гарячого водопостачання і опалення житлового будинку за рахунок відновлюваних джерел енергії.
4. Вихідні дані:
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - а) розглянути особливості отримання електроенергії за допомогою водню;
 - б) розглянути недоліки і переваги автономних систем акумулювання водню та електроенергії;
 - в) розрахувати потреби в електроенергії житлового будинку;
 - г) розрахувати сонячну станцію необхідної потужності з акумулюванням електричної енергії;

г) розрахувати термін окупності автономної сонячно-водневої системи енергозабезпечення приватного будинку;

д) розробити стартап;

е) охорона праці.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

а) плакат (назва магістерської дисертації);

б) опис будинку;

в) план будинку і розташування гідравлічних колекторів;

г) порівняння навантаження та генерації автономної СЕС;

г) Стартап

д) Техніко-економічний розрахунок

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 тези в міжнародному науково-технічному журналі молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики», 2020р.

8. Консультанти розділів дисертації*

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |

9. Дата видачі завдання «02» листопада 2020 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1 | Робота з літературою і написання вступу | 09.11.2020 – 12.11.2020 | |
| 2 | Короткий огляд водневого обладнання | 12.11.2020 – 14.11.2020 | |
| 3 | Короткий огляд сонячних електростанцій | 14.11.2020 – 17.11.2020 | |
| 4 | Вибір обладнання та розрахунок накопичувальної водневої системи | 17.11.2020 – 23.11.2020 | |
| 5 | Вибір обладнання і розрахунок автономної сонячної електростанції | 23.11.2020 – 01.12.2020 | |
| 6 | Розробка стартап-проекту | 02.12.2020 – 07.12.2020 | |

| | | | |
|---|---|-------------------------|--|
| 7 | Охорона праці | 08.12.2020 – 10.12.2020 | |
| 8 | Оформлення роботи і підготовка до захисту | 11.12.2020 – 17.12.2020 | |

Студент

Анастасія БУТЕНКО

Науковий керівник

Катерина КИРИЛЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з: аркушів - 74, таблиць – 15, рисунків – 16, перелік посилань – 30.

Мета магістерської дисертації – забезпечення автономним електрозабезпеченням житлового будинку за рахунок енергії сонячної електростанції та водневої накопичувальної системи, заряд якої відбувається за рахунок сонячної електростанції.

В роботі розраховано необхідне навантаження якому необхідно забезпечити живлення. Розраховано необхідну потужність для сонячної електростанції.

Розрахована воднева накопичувальна система для резервування електроенергії та проведений техніко-економічний розрахунок.

Тези. 1 тези в міжнародному науково-технічному журналі молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики», 2020 р.

Ключові слова: паливний елемент, водень, сонячна електростанція.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of: sheets - 109, tables - 15, figures - 16, list of references - 30.

The purpose of the master's dissertation is to provide autonomous power supply to a residential building at the expense of the energy of a solar power plant and a hydrogen storage system, which is charged at the expense of a solar power plant.

The work calculates the required load to provide power. The required capacity for a solar power plant has been calculated.

Hydrogen storage system for electricity backup is calculated and technical and economic calculation is performed.

Thesis. 1 thesis in the international scientific and technical journal of young people scientists, graduate students and students "Modern problems of electrical engineering and automation ", 2020.

Key words: fuel cell, hydrogen, solar power plant.

Зміст

| | |
|--|-----------|
| РЕФЕРАТ..... | 5 |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ | 9 |
| ВСТУП..... | 10 |
| РОЗДІЛ 1 ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В | |
| ЕНЕРГЕТИЦІ | 12 |
| 1.1 Отримання водню | 13 |
| 1.2 Накопичувачі водню | 13 |
| 1.3 Металогідридний накопичувач водню | 15 |
| 1.4 Паливні елементи | 17 |
| 1.4.2 Енергоефективність паливного елемента..... | 20 |
| 1.4.2 Відновлювачі для паливних елементів | 23 |
| 1.4.3 Системи резервного енергопостачання | 26 |
| 1.5 Воднева система енергозабезпечення | 27 |
| 1.6 Експериментальне дослідження отримання водню з використанням сонячної енергії | 29 |
| 1.7 Розробка систем зберігання водню на основі складних гідридів металу | 34 |
| 1.7.1 Термоліз | 35 |
| 1.7.2 Дослідження і моделювання різних місткостей систем термоліза... 36 | |
| 1.7.3 Натрієві системи на основі ацетату натрію..... | 38 |
| 1.7.4 Гідроліз | 40 |
| 1.7.5 Розробка резервуара для гідролізу на основі реактора..... | 40 |
| Висновки до розділу | 41 |
| РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ КЛАСИЧНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ | |
| ТА ВОДНЕВОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО | |
| ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1 Структура існуючих систем резервного енергозабезпечення на базі акумулятора і дизельного генератора | 43 |
| 2.1.1 Недоліки існуючих СРЕ | 44 |
| 2.1.2 Проблеми ДГУ в складі СРЕ | 45 |
| 2.2 СРЕ на базі водневої системи автономного енергозабезпечення | 46 |
| 2.2.1 Переваги водневої системи | 46 |
| Висновки до розділу | 46 |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВЛЕННЯМ ПРИВАТНИЙ БУДИНОК, ЯКИЙ НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЦ ДО МЕРЕЖІ. 48 | |
| 3.1 Параметри та розташування, обсяг споживання об'єкту | 49 |
| 3.2 Вибір основного обладнання СЕС | 52 |
| 3.3 Розрахунок фотоелектростанції. Встановлення кількості фотоелектричних панелей. Послідовне та паралельне з'єднання..... | 54 |
| Висновки до розділу | 56 |
| РОЗДІЛ 4 СТАРТАП | 57 |
| 4.1 Основа мета стартап-проекту..... | 58 |
| 4.2 Комплектація та вибір основного обладнання для водневої накопичувальної системи | 59 |
| 4.3 Техніко-економічний розрахунок..... | 63 |
| РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ | 64 |
| ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК..... | 71 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 72 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СЕС – сонячна електростанція;
АЕС - атомна електрична станція;
ЛЕП - лінії електропередачі;
ГЕС - гідроелектростанція;
ТЕС - теплоелектростанція;
ДГУ - дизель-генераторна установка;
АКБ - акумуляторна батарея;
ДБЖ - джерела безперебійного живлення;
БГУ - бензинова генераторна установка;
ВСЕС - воднева система енергопостачання;
ПЕ - паливний елемент;
МПВЕ - міжнародне партнерство з водневої економіки;
СРЕ - системи резервного енергопостачання;
ПОМ -протоно-обмінна мембрана;
ВСУ -воднева силова установка;
РЕ - резервне енергозабезпечення;
ДБЖ - джерело безперебійного живлення;
ДН - датчик напруги.

ВСТУП

З метою підвищення ефективності традиційних джерел електроенергії, такі як сонячні і вітрові електростанції, а також забезпечення надійного електропостачання резерву для споживачів, зниження екологічного навантаження на природу, вимагає вельми ефективних засобів накопичення і виробництва енергії.

Збільшення пропускної здатності систем від електрохімічних батарей пов'язано з високими витратами, вони стають ненадійними після тривалої експлуатації, чутливі до температури і є небезпечними для навколишнього середовища при утилізації.

Так само для невеликої системи вироблення енергії габаритні характеристики пристроїв зберігання енергії стають критичними. Технологія металогібридного накопичувача є хорошою альтернативою іншим системам зберігання. Час резервування енергії при використанні технології металогібридного накопичувача на основі водневих паливних елементів залежить тільки від кількості скільки зберігається водню. У водневої системи не існує проблеми підзарядки і саморозряду, що гарантує стабільність енергетичних параметрів, спрощує роботу джерела живлення

Таким чином, виникає необхідність в розвитку малої енергетики, а саме, на базі водневої системи енергопостачання. При цьому впровадження малої енергетики доцільно як в житлових будинках, так і для резервного електроживлення медичних установ, банківських систем, безперервних виробництв, телекомунікаційних вузлів, систем управління транспортом і міським господарством і т.п., що забезпечить раціонально екологічне і відповідальне використання паливно-енергетичних ресурсів.

Метою дисертаційної роботи є аналіз та комплексне застосування архітектурних та технологічних рішень з використання автономної комбінованої сонячно-водневої системи для забезпечення опалення та кондиціонування пасивного будинку розташованого у Полтавській області. У роботі проведений розрахунок навантаження будинку, сонячної

електростанції для забезпечення живлення та накопичувальної водневої установки, для забезпечення живлення у періоди недостатньої генерації сонячної електроенергії.

РОЗДІЛ 1
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В ЕНЕРГЕТИЦІ

1.1 Отримання водню

В останні роки стає все більш очевидним, що акцент на більш чисте паливо приведе до істотного використання водню. Водень - це хімічний елемент із символом H і атомним номером 1. При атомній вазі 1,00794 водень є найлегшим елементом в періодичній таблиці. Його одноатомна форма (H) є самим поширеним хімічною речовиною у Всесвіті, на відміну від кисню, водень не знайдений як вільний в природі за будь-якої значної концентрації, що становить приблизно 75% всієї баріонів маси. Водень є першим елементом таблиці Менделєєва, що робить його найлегшим елементом на Землі. Оскільки газоподібний водень настільки легкий, він піднімається в атмосфері і тому рідко зустрічається в чистому вигляді, H₂.

Водень виробляється з використанням як відновлюваними, так і не відновлюваними ресурсами з різними технологічними рішеннями. Існуючі технології по отриманню водню – це реформування природного газу, газифікація вугілля і біомаси, розщеплення води електролізом води, фотоелектролізом, фотобіологічною продукцією, гідротермічним термохімічним циклом і високотемпературним розкладанням.

Основні способи отримання водню включають процеси електролізу води і природного газу. У всьому світі зростає попит на водень, наприклад, на водневі паливні елементи, зробив вирішальним для пошуку методів отримання водню з недорогих простих процесів, багато дослідників запропонували деякі інноваційні шляхи. Цікаво, що велика кількість методів включало гідроксид натрію в якості основного інгредієнта. Використання гідроксиду натрію для виробництва водню не ново і було застосовано навіть в XIX столітті [24].

1.2 Накопичувачі водню

Водневе паливо являє собою паливо з нульовим рівнем викидів, в якому використовуються електрохімічні елементи, згораючи всередині двигуна, тим самим маючи транспортний засіб і електричні пристрої. Він також

використовується в двигуні космічного корабля і може застосовуватися для пасажирських транспортних засобів і літаків.

Енергія водню сприятлива для навколишнього середовища. Через екологічних проблем актуальність експлуатації водню як універсального палива, а також створення систем резервування та акумулювання енергії є сучасною і актуальною. Тому що подібні системи необхідні для збільшення ефективності використання класичних і поновлюваних джерел електроенергії, з метою споживання енергії, зниження екологічного навантаження на природу. Крім того, існує великий попит на системи додаткового електроживлення для, комп'ютерної обробки даних, транспортної інфраструктури, для управління роботою і забезпечення безпеки автономних і інших об'єктів електроспоживання [24].

Накопичувачі водню (рисунок 1.1) використовують одержуваний електролізом води газ, який запасється в ємностях і потім використовується як пальне для паливних елементів або газових турбін »[24].

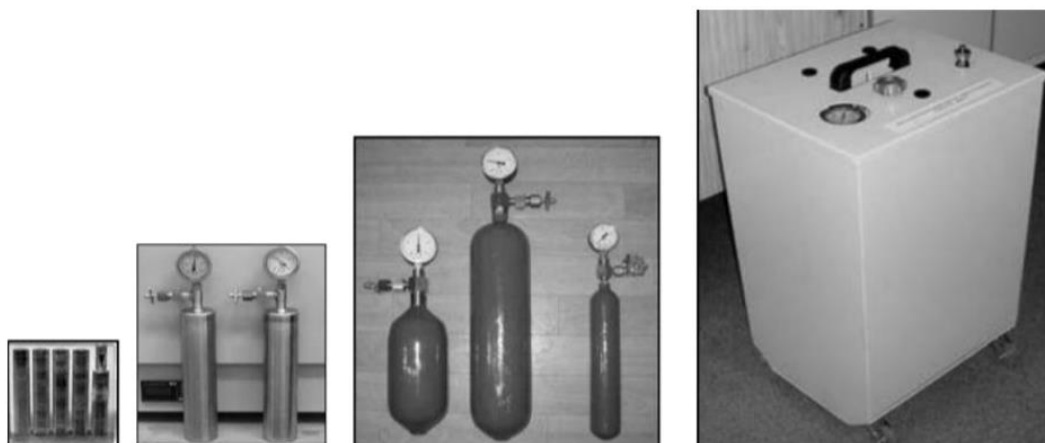


Рисунок 1.1– Накопичувачі водню

Запасання водню може проводитися в баках, підземних сховищах, в рідкому (криогенному) вигляді, в гідридних пористих матеріалах. Найбільш поширене в даний час запасання водню вигляді стислого газу. Одна з головних проблем водневого накопичення енергії в балонах це

малогабаритність і безпеку системи оборотного зберігання водню в умовах навколишнього середовища [24].

Тому з числа найбільш перспективних способів зберігання енергії виділяється металогідридний накопичувач водню (рисунок 1.2).



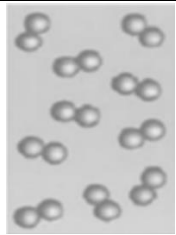
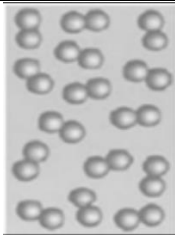
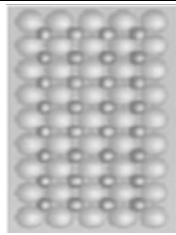


Рисунок 1.2— металогідридний накопичувач водню

1.3 Металогідридний накопичувач водню

Цей спосіб зберігання заснований на оборотній реакції взаємодії з воднем металів, інтерметалевих з'єднань, сплавів і композиційних матеріалів. Перевага даного способу зберігання водню над іншими представлена в таблиці 1.1 [26].

Таблиця 1.1– Різні способи зберігання водню

| | Стан водню | | | | |
|---|---|---|--|---|---|
| | Газоподібний водень | | | Рідкий водень | Водень в гідриді |
| Тиск (атм) | 1 | 350 | 700 | 1 | 1 |
| Температура (К) | 300 | 300 | 300 | 20 | 300 |
| Відстань H_2 - H_2 або $H-H$ (нм) | 3,3 | 0,54 | 0,54 | 0,36 | 0,21 |
| Концентрація атомів (ат/см ³) | $5,6 \times 10^{19}$ | $1,3 \times 10^{22}$ | $2,3 \times 10^{22}$ | $4,2 \times 10^{22}$ | $10,7 \times 10^{22}$ |
| Схема розташування молекул або атомів водню |  |  |  |  |  |

Інтерес до цієї системи обумовлено високою водневоємкістю. В посудині, заповненій металогідриди, можна зберігати водень в 2-3 рази більше ніж, якби цю ж ємність заповнити рідким воднем. Спосіб зберігання водню в металогідридах вигідно відрізняється від газобалонного і криогенного. Металогідридні накопичувачі водню обумовлені своєю малою габаритністю внаслідок великого об'ємного вмісту водню, безпекою через хімічно пов'язаного водню, малого тиску гідридоутворення, помірними вимогами по обслуговуванню, внаслідок своєї нескладної конструкції і немає витоків водню через низьких тисків »[24].

Металогідридний накопичувач водню можуть використовувати як для безпечного і компактного зберігання водню, так і для рішення деяких інших завдань, перерахованих нижче.

1. Очищення водню - видалення з водню до одиниць ppm домішок.
2. Відділення водню - виділення водню з суміші, що містить від 1 до 90% Не водневих атомів і молекул.
3. Поділ ізотопів - протію, дейтерію і тритію.
4. Компенсація водню - водень сорбується при низькій температурі, а десорбується при більш високій температурі, створюючи високий тиск.
5. Акумуляування тепла - процес заснований на використанні теплового ефекту реакції гідрування / дегідрування для поглинання або виділення тепла.

Робота металогібридного накопичувача заснована на оборотній реакції гідрування різних металів, інтерметалевих з'єднань, сплавів і композиційних матеріалів.

До переваг металогібридного накопичувача водню можна віднести високу об'ємний вміст водню, широкий інтервал робочих тисків і температур, сталість тиску при гідруванні і дегідруванні, можливість регулювання тиску і швидкості виділення водню зміною температури. Інші плюси металогібридних накопичувачів водню то, що вони нескладні за конструкцією, досить надійні і безпечні при експлуатації, мають невисоку ймовірність витоків водню через свого низького тиску, безшумні і компактні [24]. Подібні системи можуть заправлятися воднем прямо від електрохімічного генератора водню, а виділяється водень безпосередньо використовується для живлення паливних елементів [15].

1.4 Паливні елементи

Паливний елемент (рис.1.3) - це хімічне джерело струму (ХДС), в якому електрична енергія утворюється в результаті хімічної реакції між відновником і окислювачем, безперервно і окремо, які надходять до електродів паливного елемента ззовні. Продукти реакції безперервно виводяться з паливного елемента.

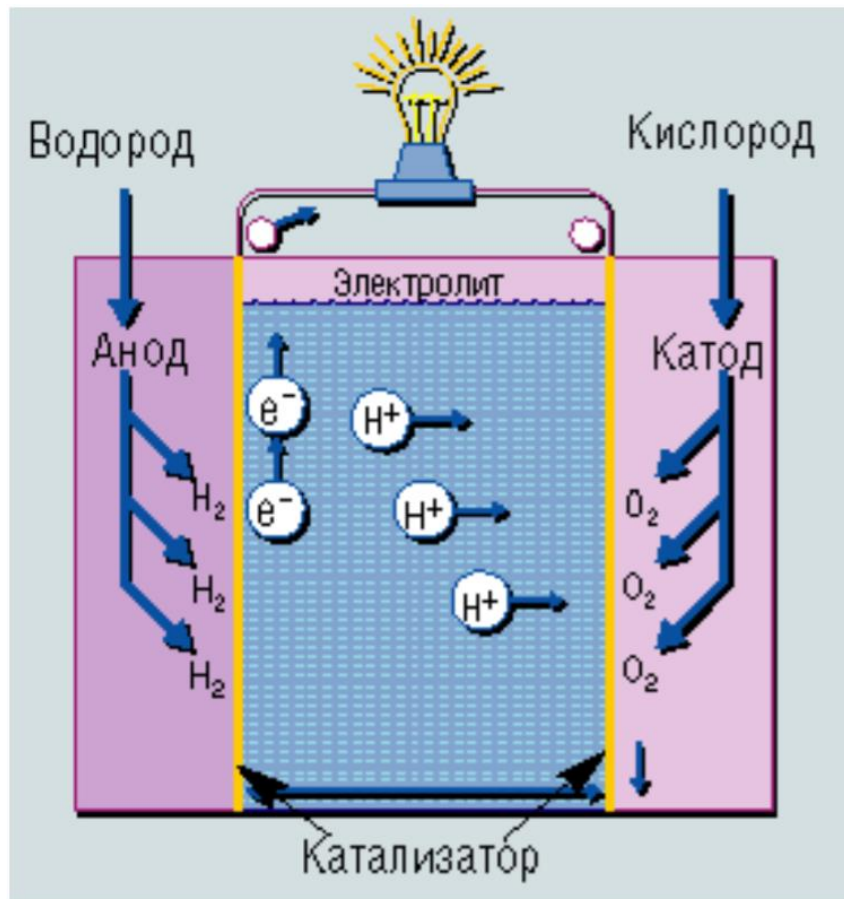
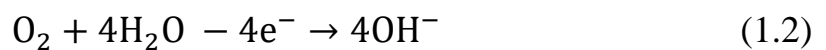
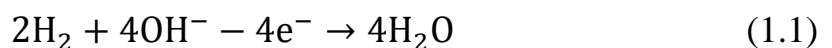


Рисунок 1.3– Паливний елемент

Хімічні реакції в паливному елементі застосовуються на спеціальних пористих електропровідних електродах, розділених іонопровідним електролітом (концентрованим розчином лугу). В розгл прикладі водень окислюється на аноді, кисеньвідновлюється на катоді [25]:



Гідроксид-іони OH^- - переміщуються в електроліті від катода до анода, в свою чергу електрони e^- - у зовнішній ланцюга - від анода до катода. Підсумовуючи рівняння реакцій (1) і (2), отримаємо рівняння струмоутворюючої реакції:



При одиничних парціальних тисках p_i і активностях a_i реагентів напруга ланцюга приймає максимальне значення, в даному прикладі рівне стандартному електродному потенціалу кисневого електрода в лужному середовищі (0,401 В) [26].

У паливних елементах застосовуються не витрачаються електроди, такі як відновник і окислювач. Вони надходять під час роботи, а не закладаються завчасно, як наприклад в гальванічному елементі або акумуляторі. Через це паливні елементи працюють тривалий час (близько 10-ів тис. годин). Так само паливний елемент конвертує хімічну енергію в електронну до тих пір, поки в нього надходять реагенти. До того ж, матеріал з якого складається провідник робить значний вплив на властивості речовини, істотно прискорюючи парціальні реакції на анод і катод.

Наприклад, в гальванічному елементі Лекланше (рис. 1.4) відновником вважається металевий цинк, окиснювачем - оксид марганцю (IV), а в якості електроліту виступає водний розчин, який має (в основному) хлориди амонію і цинку.

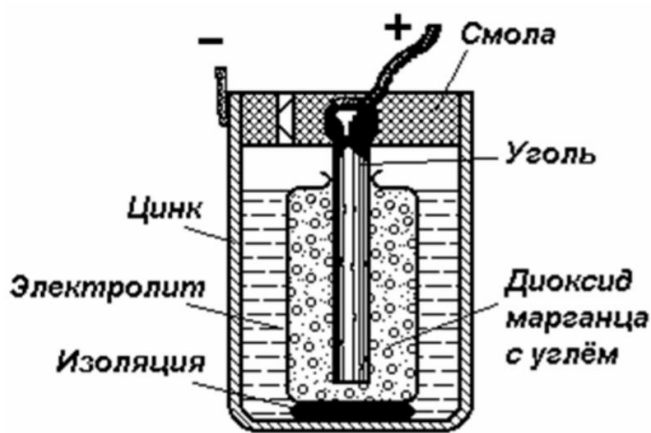
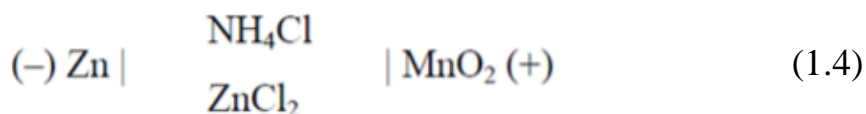
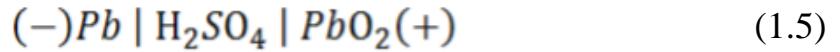


Рисунок 1.4 – Гальванічний елемент Лекланше

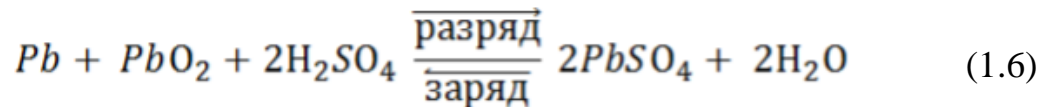
Хімічну систему ячейки такого сольового розчину записують так [8]:



Після того як відбувається розрядка елемента, активні речовини анода і катода витрачаються. Якщо гальванічний елемент повністю розряджений, то до подальшої роботи непридатний [25]. Відновити працездатність акумуляторів можливо при допомоги заряду. При заряді продукти розряду перетворюються в початкові реагенти. Так, в свинцевому акумуляторі



Струмоутворююча реакція



При заряді речовини відбувається зворотний процес, а акумулятор не виробляє, а використовує електричну енергію [25]. Додатковим плюсом ПЕ вважається маленький витрата використовуваних матеріалів в порівнянні з класичними хімічними системами. Зрештою, при роботі ПЕ виключаються малоефективні, що йдуть з величезними втратами енергії, процеси горіння і не трапляється освіту екологічно шкідливих продуктів окислення [25].

1.4.2 Енергоефективність паливного елемента

В енергоблоках теплових електростанцій енергія згоряння палива перетворюється спочатку в теплову енергію, потім в механічну і тільки потім в електричну енергію (рис. 1.5).



Рисунок 1.5- Перетворення хімічної енергії

ККД такого багатоступінчастого перетворення не більше 20-45% [25].

У паливному елементі енергія хімічної реакції відновника («Палива») з окислювачем перетворюється в електричну енергію безпосередньо, тобто без освіти інших видів енергії. При цьому можна принципово досягти високих значень ККД [26].

Максимальна корисна робота, яка може бути проведена в ХДС, дорівнює убутку енергії Гіббса ($-G$) в токообразующей реакції. В енергетичних розрахунках максимальний ККД являє собою відношення цієї роботи до убутку ентальпії при згорянні палива ($-H$) [25]:

$$\eta_{\text{макс}} = \frac{-\Delta G}{-\Delta H} \quad (1.7)$$

З урахуванням рівняння Гіббса-Гельмгольца отримаємо:

$$\eta_{\text{макс}} = 1 - T \frac{\Delta S}{\Delta H} \quad (1.8)$$

Енергії електрохімічним шляхом можна отримати як більше, так і менше, все залежить від знака при S , ніж це відповідає тепловому ефекту реакції окислення палива. Якщо врахувати, що при горінні $H < 0$, то при $S > 0$ значення $\text{макс} > 1$. Це говорить про те, що при ізотермічної і оборотної роботі ХДС в електричну енергію перетворюється не тільки хімічна енергія ($-H$), але і надходить з навколишнього середовища тепло в кількості $Q = TS$, а тому ККД такого джерела струму перевищить 100% [25].

Знак зміни ентропії орієнтується балансом перетворення газів, що беруть участь в струмоутворюючої реакції. Наприклад, в реакції (3), протікає з утворенням рідкої води, кількість моль зменшується з 3 до 0, і $S < 0$. Для реакції $C + 1/2 O_2 (г) = CO (г)$ кількість моль газів, навпаки, збільшується з 0,5 до 1, тому $S > 0$ і $\text{макс} > 1$ [25].

Насправді ККД паливних елементів не перевищує 65%, але зате виділяються тепло при роботі ТЕ можна використовувати для генерації додаткової електричної енергії за допомогою парових або газових турбін.

Основними електричними характеристиками паливного елемента є:

- електрорушійна сила E ;
- внутрішній опір r ;
- потужність P ;
- коефіцієнт корисної дії η .

ЕРС є відношенням повної роботи, яку здійснюють джерелом струму при переміщенні одиничного заряду по замкненій електричного кола, до величини цього заряду [25].

Повна електрична потужність джерела дорівнює:

$$P_{\text{макс}} = E \cdot I \quad (1.9)$$

Ця потужність виділяється на опорі навантаження і на внутрішньому опорі елемента в такий спосіб. Потужність, що розсіюється на опорі навантаження буде дорівнює [25]:

$$P_{\text{нагр}} = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1.10)$$

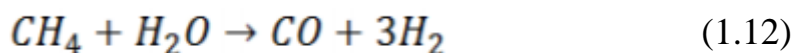
У вищеописаній інтерпретації потужностей електричний ККД системи, очевидно, буде дорівнює [25]:

$$\eta = \frac{P_{\text{нагр}}}{P_{\text{полн}}} = \frac{U}{E} = \frac{R}{R + r} \quad (1.11)$$

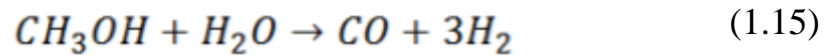
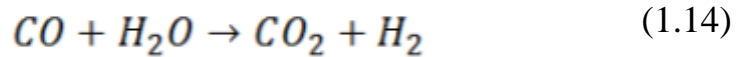
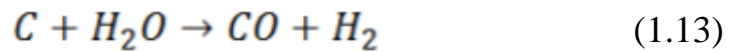
1.4.2 Відновлювачі для паливних елементів

Для того що б вибрати відновник для ТЕ, потрібно врахувати ряд чинників. Такі як: екологічні норми, вартість, хімічна активність, доступність, а найголовніше можливістю простого підведення і відведення реагентів в паливний елемент. Нинішня розробка паливних елементів обумовлена в основному використанням газоподібних і рідких палив. При цьому з прийнятною (досить високою) швидкістю в ТЕ може окислюватися тільки водень, в спеціальних видах ТЕ - оксид вуглецю (II) і метанол [25].

У природі водень зустрічається тільки в різних з'єднаннях, одна з яких є вода. Можна було б отримувати водень за допомогою електролізу води, але даний метод дуже енергоємний. Тому у великих обсягах виробництва водню застосовується більш дешевий метод переробки природного газу, основним компонентом якого є метан CH_4 . При його реакції з гарячими водяними парами утворюється синтез-газ: застосовується більш дешевий метод переробки природного газу, основним компонентом якого є метан CH_4 . При його реакції з гарячими водяними парами утворюється синтез-газ:



Більш того, в водень та інші гази заздалегідь конвертуються інші природні види палива, а також метанол, наприклад, по реакціях:



Речовини, отримані методом конверсії, подаються в ПЕ, але після того як буде проведена очистка та поділ. застосовуючи цю технологію вартість водню складе в 4-5 разів вище, ніж у бензині. Також, отримання водню за допомогою даних технологій знижує екологічні норми через утворення чадного газу. І тому не можна буде стверджувати, що водень це чисте паливо [25].

Далі в таблиці 2 наведені класифікації паливних елементів відповідно до діапазону робочих температур.

Таблиця 1.2— класифікації паливних елементів відповідно до робочої температури

| Низькотемпературні паливні елементи | Високотемпературні паливні елементи | Середньотемпературні паливні елементи |
|---|---|--|
| Твердополімерні паливні елементи (ТППЕ) | Розплавкарбонатні паливні елементи (РКПЕ) | Фосфоркислотні паливні елементи (ФКТЕ) |
| Лужні паливні елементи (ЛПЕ) | Твердооксидні паливні елементи (ТОПЕ) | |

Струмоутворюючі елементи в ПЕ не закладаються попередньо при виробництві електродів, а підводяться в міру витрачання, це і є одним з головних відміну паливних елементів від акумуляторів [25]. Методика паливного елемента дає можливість здійснювати системи електроживлення різного масштабу - потужністю з 1-го Ватта аж до Мегаватт [25].

Сфера ПЕ включає в себе важливі галузі інфраструктури, такі як: зберігання та розповсюдження палива для ПЕ. формування даного розділу відображено в цьому документі. Заплановані можливості розвитку галузі на найближчі роки (3 - 5 років) для основних секторів застосування ПЕ [24].

На відміну від ДВС або акумулятора, паливні елементи вдало впроваджуються на цілому ряді ринків, де визнаються безсумнівні переваги ПЕ. Поставки ПЕ продовжують збільшуватися, показуючи щорічне подвоєння кількості поставляються систем. триває зростання обсягу замовлень на системи ПЕ у всіх секторах. більшість фахівців дають оцінки зростання щорічного числа замовлень на 40-55% [24].

Так само продовжує лідирувати в галузі ПЕ стаціонарний сектор, з великої одиничної потужності кожної одиниці обладнання. Найближчі роки очікується стійке зростання на 40% в рік.

Загальна азійська область теж переважає у впровадженні технології ПЕ протягом останніх 5 років. Очікуються поставки в цей регіон на рівні 60%. За потужністю поставляються систем домінування не таким значним завдяки зростаючому ринку великих стаціонарних систем в Північній Америці [24].

Найпоширенішим типом за кількістю поставляються обладнання в світі ПЕ є протонно-обмінна. це обумовлена тим, що даний тип ПЕ однаково придатна для систем малого і великого масштабу.

Зросли застосування ПЕ і в галузі автомобілебудування. Так як були укладені партнерські угоди високого рівня. Тим самим піднімаючи інтерес до технології ПЕ і в розвитку водневої енергетики в цілому [25].

Промисловість ПЕ продовжує посилюватися, просуваючись від науково-технічних проєктів до повномасштабної комерційної області.

Так само одним із значних впливів на зростання в сегменті ПЕ надає ще один напрямок - сектор СРЕ (систем резервного і автономного енергопостачання на ПЕ). Дані системи широко використовуються практично у всіх областях, де забезпечення безперервного електропостачання є обов'язковою умовою нормального функціонування [22]. Це системи зв'язку, і

особливо, обладнання операторів мобільного зв'язку. До цього класу належать також «обладнання і системи для критичних додатків»: медичні системи життєзабезпечення, дата-центри (ЦОД), системи урядового та відомчого зв'язку, системи управління наземним і повітряним транспортом тощо [24].

Очевидні переваги реалізації систем CPE на паливних елементах в порівнянні з класичними системами на акумуляторах і дизель-генераторах привертають все більше уваги до систем резервного живлення на ПЕ. Оператори зв'язку в усьому світі проводять практичну роботу по переходу систем резервування харчування в своїх мережах на паливні елементи [26].

1.4.3 Системи резервного енергопостачання

Використання паливних елементів як резервних систем електроживлення на ринку телекомунікацій набуло поширення завдяки Recovery Act від 2009 року Уряду США [13]. Ballard Power Systems Ballard повідомляє, що замовлення на її систему Electra Gen з Азії і Африки залишаються на стабільно високому рівні - по 100-200 одиниць в місяць. Зараз Ballard пропонує обидва типи ПЕ для систем резервного живлення (на водні і на метанолі) після придбання частини бізнесу у IdaTech. Системи на метанолі показали особливу популярність і за дев'ять місяців з моменту придбання цієї технології Ballard поставила більше 500 таких систем [24].

Ураган Сенді пройшов по східному узбережжю США в жовтні 2012 року з великим руйнівним ефектом, але протягом цього часу вежі стільникового зв'язку, які отримують живлення від систем на ПЕ зберігали працездатність і на тривалий період забезпечили зв'язком абонентів в Нью-Йорку, Нью-Джерсі і Коннектикут [6]. Alteryx має більше 60 систем на ТЕ, встановлених в зоні катастрофи, і вони нормально працювали під час шторму і безпосередньо після шторму [5].

Азія, і зокрема Китай, являє собою величезний ринок для ПЕ технологій в зв'язку з ростом мобільних телефонів. Тут представлено цілий ряд компаній, включаючи VN Technologies, ReliOn, FutureE і Ballard, які залучені до

реалізації пілотних проектів для основних провайдерів телекомунікаційних послуг [6]. Пілотні проекти в США, в кінці кінців, призводять до численних замовлень обладнання, і є надія, що-те ж саме станеться і в Китаї, батьківщині двох з трьох найбільших мобільних операторів в світі: China Mobile і China Telecom. Обидва випробовують у себе системи на ПЕ [7].

1.5 Воднева система енергозабезпечення

Воднева система енергозабезпечення (рис. 1.6) включає в себе поновлювані джерела енергії, наприклад сонячну батарею, яка слугитиме тільки для запуску електролізера. Генератор водню, то є електролізер генерує водень. Далі водень надходить в ємність для зберігання водню, в нашому випадку металогібридний накопичувач водню. Наступним елементом даної системи є паливні елементи, що перетворюють хімічну енергію окислення водню в електричну. Паливні елементи виробляють електричну енергію до тих пір, поки на анод подається водень, а на катод - повітря. Енергоємність такої системи забезпечується обсягом запасеного водню, а потужність— кількістю паливних елементів в батареї [24].



Рисунок – 1.6 - Технологія водневого накопичення енергії

Переваги водневих систем:

- можливість підвищення потужності і енергоємності шляхом збільшення кількості стандартних модулів;
- високий КІПД (більше 50%);
- тривалість зберігання запасів енергії;

- висока енергоємність (більше 150 Вт*г/кг);
- незалежність енергоємності від температури;
- простота регламентного обслуговування.

Так само до достоїнств такої системи можна віднести, те що не приносить шкоди навколишньому середовищу, видає мало шуму.

Дослідження різних технологій накопичення енергії показує, що водневі системи мають значні переваги, які представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Порівняння електрохімічних і водневих систем резервування і акумулювання енергії

| Показник | Електрохімічні батареї | Дизельний генератор | Воднева енергетика |
|---------------------------------|---|--|---|
| Ефективність ККД | 70% | <35% | 55% |
| Середній термін служби | 30 років | 7 років | 15 років |
| Обслуговування | Періодичне: заміна батареї кожні 5-7 років | Періодичне: заміна мастила, фільтрів, палива | Заміна повітряного фільтра кожні 2 роки |
| Клімат | Необхідне кондиціювання літом, обігрів взимку | | |
| Шумність | Відсутнє | | Відсутнє |
| Вихлопи | Відсутнє | | Відсутнє |
| Цикл роботи | Хімічна енергія → електроенергія | Хімічна енергія → механічна енергія → електроенергія | Хімічна енергія → електроенергія |
| Можливість довготривалої роботи | ні | так | так |
| Час запуску | швидко | 0,5-2 хвилини | швидко |

Тому можна зробити висновок, що використання водневого накопичення електроенергії більш вигідно в системах, для яких властива велика енергоемність при невеликій потужності і обмеження за обсягом акумулювання. У системах з різними вимогами до накопичення енергії можуть бути застосовані гібридні накопичувачі електричної енергії, що включають в себе комбінації різних технологій, об'єднання єдиною системою перетворення і управління (рис. 1.7) [24].



Рисунок 1.7 - Гібридна система акумулювання енергії

1.6 Експериментальне дослідження отримання водню з використанням сонячної енергії

Водень є стійким варіантом палива і одним з можливих рішень екологічних проблем. У цьому дослідженні водень отримують за допомогою генератора водню з протонно-обмінної мембраною (ПОМ) електролізера. Експериментальне дослідження проводиться в центрі розвитку відновлюваних джерел енергії в Алжирі.

Експериментальний пристрій містить: фотоелектричний модуль, електролізер ПОМ, газометр і пристрої для вимірювання характеристики електролізера ПОМ, а також два піранометра і дифузор. ця система дозволила з одного боку виміряти і проаналізувати характеристику електролізера ПОМ при різних тисках (P_{atm} і $p = 3$ бар), а з іншого боку, дозволила вивчити обсяг водню в різних джерелах електроенергії (генератор, фотоелектричний модуль,

лампа денного світла). ККД для кожного випадку обчислювалася і порівнювалася. У даній статті представлені значення зміни швидкості потоку водню, в залежності від часу доби, експеримент проводився в серпні в денний час доби.

Водень розглядається як енергоносіє майбутнього. Він може бути отриманий різними способами, в тому числі з використанням сонячної енергії, а так само за допомогою сонячної теплової енергії.

Сонячна енергія може бути використано в електролізері, щоб розкласти дистильовану воду на водень і кисень. Автономні системи електролізера служать для виробництва водневого палива. Це система складається з фотоелектричного модуля, який поставляє електрику через систему електролізера, як показано в великих проектах в Каліфорнії, Німеччини та Саудівської Аравії.

Електроліз води вважається одним з ключових технологій для отримання водню, так як вона сумісна з існуючими і майбутніми технологіями вироблення електроенергії і великої кількості відновлюваних технологій (сонячна енергія, біомаса, гідроенергія, вітер, припливи і відливи, і т.д.). В даний час більшість комерційних технологій електролізу води використовують кислотні або лужні системи електроліту для одержання водню. Типова ефективність вказана в діапазоні 55-74% з більшістю комерційних систем, що мають ККД нижче 65%. Щільність струму зазвичай становить близько 0,3-0,4 А / см² і виникають технічні труднощі в підтримці електролітного балансу, а так само в підтримці водню і кисню. Нині технологія електролізу води на основі полімерної мембрани електроліту знаходиться в розробці. Система електролізу ПОМ можуть швидко реагувати на зміни енерговитрат і, отже, може бути легко інтегрована з системами використання поновлюваних джерел енергії. ПОМ працює при відносно низьких температурах, як правило, при температурі 80 ° С або нижче, і, як правило, складається з численних осередків, складених послідовно. Гійом Дусі і інші

вивчали загальні характеристики інтегрованої і автоматизованої силової установки водню (ВСУ).

Система складається з фотоелектричного модуля 0,46 Вт (PV), а електролізер 0,64 W включає в себе: протонообмінну мембрану, генератор зі змінною напругою, флуоресцентну лампу 1000 Вт, дві ємкості з ємністю 250 мл і пристрої знімає характеристик у електролізера ПОМ, а також два піранометра.

Основна частина блоку ПОМ є мембранний електродний блок. Шар матеріалу каталізатора був застосований до обох сторін тонкої протонно провідної мембрани (ПОМ = протонно обмінна мембрана). Ці два шари утворюють анод і катод електрохімічної осередки. Як ми бачимо на рисунку 21, на стороні анода утворюється газоподібний кисень, електрони і іони H^+ . Іони H^+ проходять через мембрану до катода і утворюють газоподібний водень з електронами, протікають через зовнішній провідний контур. Таким чином, електрична енергія перетворюється в хімічну енергію, і зберігається в вигляді водню і кисню.

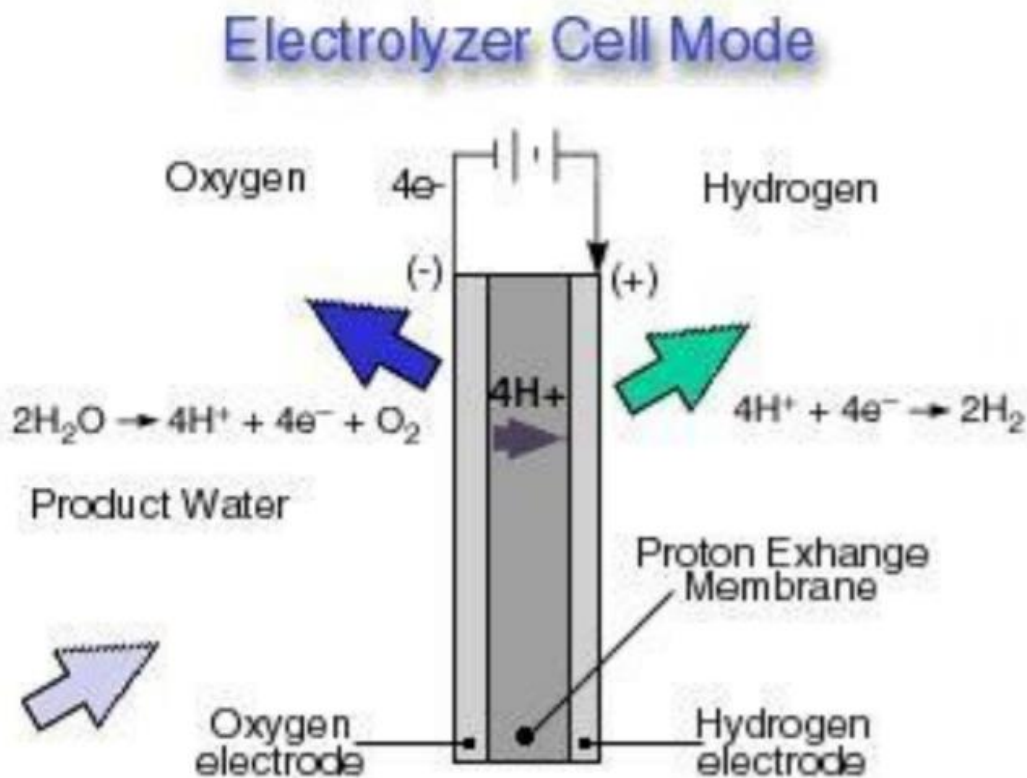


Рисунок 1.8— Функціональний принцип електролізера ПОМ

Oxygen- кисень; hydrogen- водень; product water- вода; proton exchange membrane - протонна мембрана.

Електролізер виробляє водень і кисень в співвідношенні 2:1 (рис. 1.8), обсяг виділяється водню вимірюється як функція від часу T . Початок відліку часу відбувається коли вода в газометр (H_2), проходить нижній знак. Далі вимірюється напруга U і струм I під час електролізу.

Пройдений досвід в першу чергу повинен показати, як змінюється характеристика електролізера ПОМ при різних тисках.

Експериментальна установка приведена на рис. 1.9.

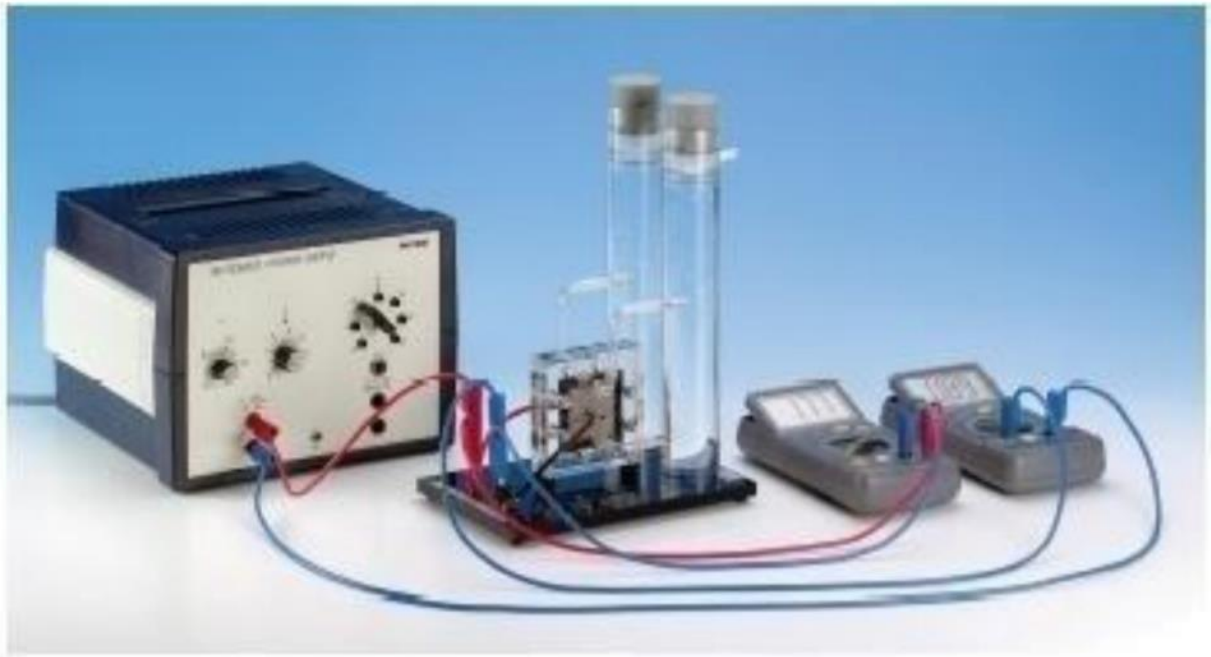


Рисунок 1.9— Лабораторна установка для отримання водню за допомогою електролізера, що працює від генератора

Далі, ми визначаємо обсяг отриманого водню при різних джерелах енергії. Перший спосіб - це сонячна енергія. Другий спосіб складається з імітації сонячної енергії за допомогою лампи. Третій спосіб - це електролізер ПОМ генератора напруги.

Результати представлені в наступних пунктах. По перше, електролізер ПОМ працював двома різними тисками (P_{atm} і $P = 3\text{ бар}$). Потім обсяг водню виробляли з різними джерелами електроенергії (генератор, фотоелектричний модуль, лампа денного світла). Нарешті, ми вираховували ефективність для кожного випадку. Продуктивність електролізера ПОМ для двох різних тисків, показані на рис. 1.10.

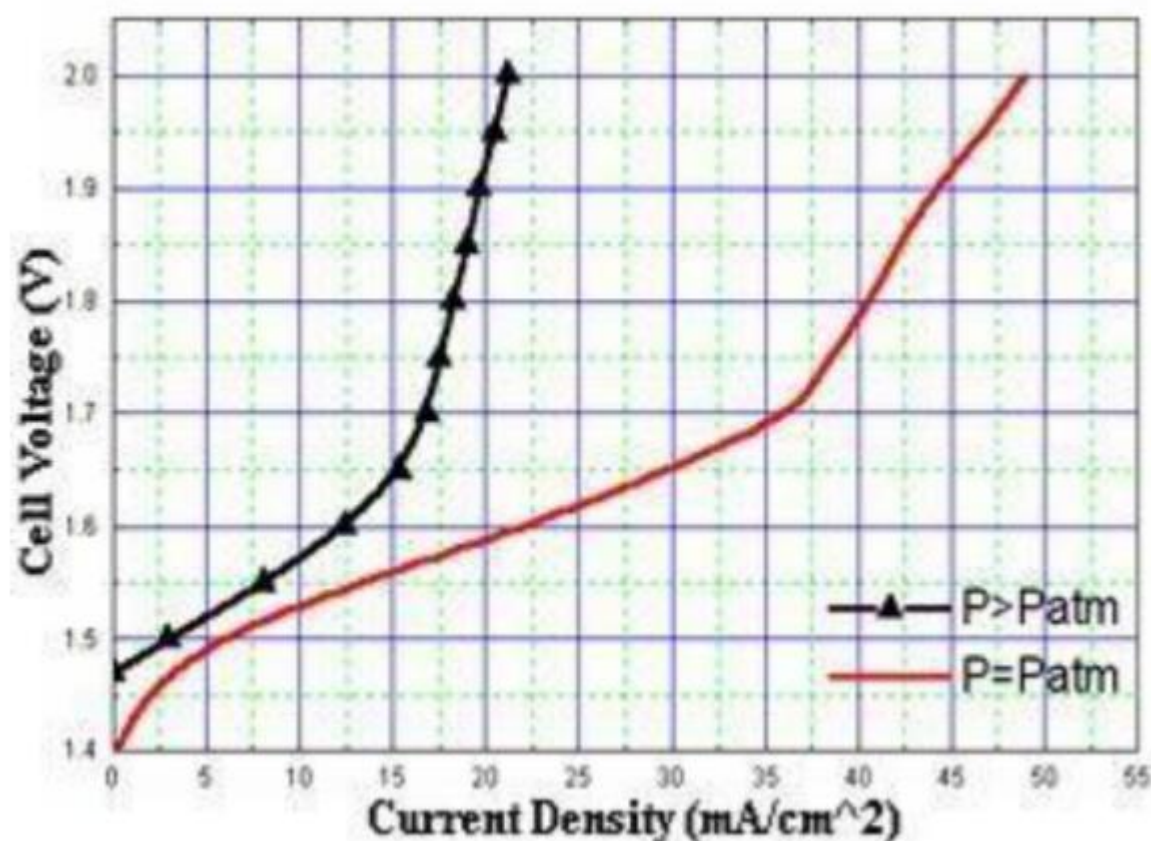


Рисунок 1.10— Зміна напруги елемента і щільність струму як функція тиску

На графіку видно, що тиск істотно впливає на продуктивність електролізера ПОМ. Ефект збільшення тиску кисню від 3 бар призводить до підвищення напруги 0,06 В і струму. Ці результати показують, що збільшення тиску кисню призводить до значному поліпшенню в поляризації на катоді.

Отримані висновки:

- водень є чистим джерелом енергії. До того ж енергія необхідна для створення водню потрібно менше, ніж можна вивести з нього;
- зниження залежності від викопних і ядерних джерел енергії звільнить країну від дорогого іноземного капіталу і поліпшення здоров'я і добробуту її громадян. Це буде досягнуто за рахунок значного скорочення викидів парникових газів і кількості інших отрут, що відносяться до викопних і ядерних джерел енергії в повітрі, землі і воді;
- Сонячна енергія може служити джерелом живлення електролізера для отримання водню. Водень буде зберігатися в накопичувачах для запуску ПЕ, коли сонячної енергії буде не вистачати для забезпечення електрикою споживача

1.7 Розробка систем зберігання водню на основі складних гідридів металу

У цьому огляді описуються останні дослідження в області розробки резервуара на основі складних гідридів металу для термолізу та гідролізу. Комерційні застосування з використанням складних гідридів металу обмежені, особливо для систем на основі термолізу, де до сих пір виконувалися тільки демонстраційні проекти. Системи на основі гідролізу знаходять своє застосування в космічних і військових галузях завдяки їх сумісності з паливними комірками з протонної мембраною.

Для термоліза були розроблені резервуари, що містять переважно алюміно гідридом натрію, і кілька прикладів з нитридами.

Для гідролізу кращим матеріалом є бор гідрид натрію, в той час як аміак виявився менш ефективним. Утилізація відпрацьованого палива бор гідрид натрію залишається важливою частиною їх комерційної життєздатності.

За останні 15 років комплексні гідриди алюмінію і бору були досліджені в якості можливих матеріалів для зберігання водню. Хоча склад цих матеріалів схожі, але хімічну поведінку зовсім інше. Приклад деяких складних гідридів алюмінію (NaAlH_4 , KAlH_4 , Na_3AlH_6 т.д.). Ці гідриди можна розкладати при

підвищених температурах, і при технічно значущих умовах з використанням каталізаторів, а також можна проводити повторне дегідрування. Однак температура розкладання комплексних гідридів бору (LiBH_4 , NaBH_4) часто набагато вище, і оборотність не може спостерігатися в умовах, які використовуються для складних гідридів алюмінію. Отже, складні гідриди алюмінію можуть бути використані для технічних застосувань, де важливою умовою є повторне дегідрування матеріалу для зберігання водню. А складні гідриди бору кращі для систем картриджів, які вивільняють водень в реакції гідролізу при температурі навколишнього середовища. Ці різні властивості призводять до абсолютно різних технічних вимогам. Це робить розробку систем зберігання на основі алюмінієвих або бор гідридних з'єднань складним завданням.

Термоліз вимагає введення тепла, і при проектуванні бака-накопичувача необхідно дотримуватися обережності, щоб ефективно розподіляти тепло. З іншого боку, гідроліз вимагає не тільки ефективного змішання складного гідриди води, але також поділу отриманого газоподібного водню і суспензії, що складається з продукту розкладання і води. У той час як системи термолізних баків розробляються в демонстраційних проектах. Системи гідролізних накопичувачів вже знайшли застосування в реальних умовах.

1.7.1 Термоліз

Розробка резервуара для зберігання водню на основі гідридів включає в себе різні рівні дослідження. Перший рівень передбачає випробування матеріалів в лабораторних умовах. Як тільки відповідні матеріали були обрані, створюється методика оцінки.

Методика ґрунтується на двох складових. перше це моделювання повномасштабної системи, а друге - виготовлення досвідченого зразка, щоб експериментально оцінити роботу матеріалу і перевірку результатів моделювання.

1.7.2 Дослідження і моделювання різних місткостей систем термоліза

Харді С.Н. і Антон І.М розробили ієрархічну методику завантаження водню з метою уточнення робочих параметрів. Їх методологія складається з чотирьох підмоделей: перша модель це оцінка кінетики, друга модель оцінка геометрії, розроблена для уточнення шкали довжини в заданій геометрії резервуара; третя модель змінного теплообміну, розроблена для розрахунку витрати і температури теплоносія, падіння тиску, коефіцієнтів теплоти конвекції і підвищення температури вздовж каналу охолодження; і четверта це двох і трьох мірна модель кінцевих елементів, побудована з використанням раніше оптимізованих параметрів (від 1 до 3) в якості вхідних параметрів.

Модель була використана для оцінки детальних характеристик для системи NaAlH_4 , але може бути також адаптована для інших систем, якщо буде надана належна кінетична модель. Пфайфер Р. і його колеги досліджували теплову зв'язок між паливним елементом з високою температурою протонної обмінної мембрани (НТ-РЕМ) і резервуаром алюмогідрида натрію (2 кг) з використанням імітаційних досліджень для визначення параметрів, впливають на ефективність і на запуск під час виділення водню. В моделюванні використовувалася кінетична модель Гросса. Автори підкреслювали, що кінетика розкладання є граничним параметром ефективності клітини. Виявлена оптимальна робоча температура 185°C з потужністю паливного елемента 1 кВт. Мінімальна робоча температура була оцінена при 120°C з сумарним виходом $0,8\text{ кВт}\cdot\text{г}$.

Бьюрі провів оптимізацію двох різних конфігурацій резервуарів, а саме систему оболонок, труб, гідридів і многотрубного реактора, обладнана ребрами. Ієрархічна методологія, розроблена Харді і Антоном, використовувалася з кінетичної моделлю UTRCTM. Мета конфігурації складалося в оптимізації товщини ребер і кількість теплообмінників, як при завантаженні, так і при розвантаженні. Було показано, що товщина ребер не

впливала на процес завантаження. Однак під час розряду швидкість і кількість виділення водню поліпшувалися за рахунок використання більш товстих ребер. Зрештою, це зменшило гравіметричну і об'ємну ємність. Вплив кількості, товщини і кліренсу ребер на поглинання водню оцінювали в конфігурації. Автори прийшли до висновку, що збільшення кількості ребер і зменшення зазорів благотворно позначається на швидкості завантаження за рахунок водневої ємності. Оптимізована конфігурація (шість ребер, товщина 0,1 см і зазор 0 см) привела до поліпшення швидкості завантаження на 41%. Таким чином, оптимізація системи була заснована на компромісі між швидкістю завантаження і внеском ребер в загальну вагу.

Вплив експлуатаційних параметрів при заправці водню в ємність з поздовжніми ребрами і охолоджуючим теплообмінником було розглянуто Раджером і Кумаром. Геометрія бака була прийнята Хардіномі Антоном. Було виконано аналіз чутливості для оцінки впливу початкової температури шару, тиску подачі, витрати охолоджуючої рідини, температури охолоджуючої рідини і теплопровідності. Кінетична модель була прийнята Лорен і Гроссом. було вибрано робочий тиск 15 МПа, щоб підтримувати оптимальну температуру 420 - 450 К і витрата охолоджуючої рідини 25 л/хв при температурі 380К. Найкраща конфігурація зажадала збільшення теплопровідності на 8 Вт·м·К за рахунок ущільнення з додаванням підсилювача електропровідності (алюмінію або графіту).

Моделювання було виконано для багатотрубного резервуара з використанням кінетичної моделі Лозена. Вплив внутрішнього діаметра, ущільнення і додавання розширеного природного графіту (ENG) оцінювали відповідно до водневої ємності під час завантаження (тут в якості обмеження використовувалося 4,5 кг H₂ за 10 хв). Оптимізована конфігурація для резервуара з внутрішнім діаметром 35 мм з ущільненим порошком і без добавки ENG була визначена при 10 МПа і 130 ° С. Ефект додавання графіту і конструкція теплообмінника були також вивчені Джонсоном. Моделювання

проводилося з використанням першої кінетичної моделі, заснованої на експериментально визначених параметрах.

У 2014 році було розроблено порівняльний аналіз стійкості з використанням кінетичної моделі від Лозена. Автори оцінили, ґрунтуючись на рушійну силу для кожного під процесу (перенесення водню, внутрішня динаміка і теплопередача), опір в процесі сорбції водню. Автори підкреслювали, що перенесення водню має незначний ефект (незалежно від розміру реактора), внутрішня кінетика грає вирішальну роль в невеликій осередку (2 мм), а теплопередача є основним опором при поглинанні і збільшенні бака. Отже, в системі резервуарів, необхідно поліпшення теплопередачі.

Ренонд С. та інші дали всебічний огляд при додавання різних компонентів в резервуар для металогібридного накопичувача. Більш висока щільність порошкоподібного матеріалу може поліпшити обмеження по теплопровідності і об'ємної ємності. Так само вони виявили, що ущільнення матеріалу є найбільш впливовим фактором для оптимізації водневої накопичувача.

В їх роботах представлений короткий огляд систем зберігання водню, які були опубліковані на основі апланата натрію, амідів металів, борана і алана аміаку. Зусилля в області досліджень і розробок спрямовані на поліпшення об'ємної продуктивності, ефективності управління теплом і зниження загальної вартості систем.

1.7.3 Натрієві системи на основі ацетату натрію

Беллоста фон колбі зі своїми колегами продемонстрували функціональність 8-кілограмового резервуару при абсорбції і десорбції з максимальним часом поглинання менш 10 хв.

Даний накопичувач отримав швидку швидкість зарядки воднем за рахунок додавання ацетату натрію. Це відкрило шлях для зберігання водню на базі комплексних гібридів, де джерело доступного тепла відпрацьованих газів

сумісний з енергетичними потребами резервуара (особливо щодо рівня температури). Це особливо стосується великомасштабних і стаціонарних застосувань.

Уц А. і його колеги вивчали поведінку порошкоподібного шару, містить NaAlH_4 , в лабораторному резервуарі для зберігання водню.

Даний накопичувач (рис. 1.11) виготовлений з алюмінієвого сплаву для зменшення ваги, розроблена в ІЕіЕ (Інститут енергетики і екології, Німеччина) та Інститут досліджень Макса Планка. Теплопередача здійснювалася через потік масла в байонетному теплообміннику, виготовленому методом екструзійного формування з алюмінієвого сплаву. Резервуар для зберігання водню об'ємом 0,21 кг вивільнив і поглинув 3,6 г (1,7 мас.%) водню при температурі приблизно 450 К. Випробування з 45 циклами (гідрування і дегідрування) проводилося без будь-яких збоїв в накопичувачі і в його компонентах. Робота резервуара в реальних умовах показала можливість застосування зі стаціонарними системами паливних елементів.



Рисунок 1.11— Накопичувач водню

1.7.4 Гідроліз

Випуск водню може також статися через вплив тепла за допомогою гідролізу реакцією з водою. Значна кількість робіт було інвестовано в експериментальній перевірці системи гідролізу комплексних гідридів металу. Бор гідрид натрію NaBH_4 , є одним з найбільш перевірених матеріалів для гідролізу. NaBH_4 був вперше виявлений в 1940 році Шлезінгером і Брауном, але робота була засекречена і не публікувалася до 1953 року. NaBH_4 має вміст водню близько 10,8% і є єдиним компонентом гідриду, яка до сих пір застосовується.

1.7.5 Розробка резервуара для гідролізу на основі реактора

Експериментальні системи гідролізу засновані на двох різних конструкціях накопичувача. У накопичувачі періодичної дії змішуються два компонента гідрид бору і каталізатор з водою. В проточному резервуарі, розчин гідрид бору передається через твердий шар каталізатора з подальшим поділом отриманого водню і побічного продукту. Оскільки розчинність NaBH_4 в лужних водних розчинах значно вище, ніж для NaBO_2 , то в цих системах, концентрація розчину гідриду бору створює проблеми. Гідроліз реакція також може виникнути в результаті реакції між парою і твердим гідридом бору. Використання пара може зменшити кількість води, тим самим покращуючи загальне сховище енергії системи [20].

Висновок:

Таким чином переваги реалізації водневої системи на паливних елементах з металогідридним накопичувачем привертають все більше увагу. Так як цю систему з легкістю можна використовувати як в промисловому виробництві, так і для житлових будівель. Він безпечний для довкілля, не токсичний. Чи не несе жодної загрози людині тваринам. Водень без проблем транспортується і зберігається в металогідридному накопичувачі, не побоюючись за життя.

Висновки до розділу

Таким чином пошук альтернативних поновлюваних і екологічно чистих джерел, здатних забезпечити людство енергією на найближчі сотні років, є одним з безперечних пріоритетів сучасної науки. Цей пошук показує, що одним з найбільш ймовірних замінників органічного палива енергоносіїв для транспорту і енергетики в цілому є водень.

РОЗДІЛ 2
АНАЛІЗ КЛАСИЧНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ТА ВОДНЕВОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Резервне енергозабезпечення (РЕ) - досить хороший спосіб забезпечити електрикою споживача. Однак містить в собі цілий ряд проблем, пов'язаних з роботою самих систем резервного електроживлення. Хоча і видно прогрес в реалізації окремих елементів резервного енергозабезпечення, але домогтися істотного поліпшення експлуатаційних характеристик систем в цілому поки що не вдається. Це пов'язане, зокрема, з практично незмінною структурою даних систем [11].

Через випадки масштабних відключень електроенергії в різних країнах модернізація резервного енергозабезпечення звелася тільки до нарощування часу автономної роботи шляхом збільшення ємності акумуляторів, відповідного збільшення потужності дизельного генератора, поновлення систем управління і моніторингу [11].

Таким чином «нові» СРЕ успадкували всі структурні якості і недоліки умовно старих систем. СРЕ широко застосовуються практично у всіх сферах, де забезпечення безперервного електропостачання є обов'язковою умовою нормального функціонування. Це системи зв'язку, і особливо, обладнання операторів мобільного зв'язку [11]. До цього класу відносяться також обладнання та системи для критичних об'єктів: медичні системи життєзабезпечення, банківські розрахунково інформаційні системи, дата-центри (ЦОД), системи урядового і відомчого зв'язку, системи управління наземним і повітряним транспортом тощо [12]. Очевидні переваги реалізації водневої системи енергозабезпечення на паливних елементах в порівнянні з «класичними» системами на акумуляторах і дизельних генераторах привертають все більше уваги [11].

2.1 Структура існуючих систем резервного енергозабезпечення на базі акумулятора і дизельного генератора

«При всій різноманітності реалізацій функціональні елементи існуючих СРЕ залишаються незмінними: ДБЖ забезпечує перехідна резервне живлення від АКБ при неприпустимих зміні параметрів силової мережі (зміні напруги,

зміни частоти, перевищенні допустимого рівня перешкод, короткочасні зникнення напруги, тривале зникнення напруги). Ключовим елементом ДБЖ є блок АКБ. Ємність АКБ визначає час автономної роботи від акумулятора [11].

ДГУ з автоматичним пуском. При розряді АКБ до встановленого рівня відбувається перемикання на живлення від ДГУ. При цьому, забезпечується живлення всіх споживачів і зарядка акумуляторів ДБЖ. Тривалість роботи ДГУ визначається запасом дизпалива [11].

2.1.1 Недоліки існуючих СРЕ

Ключовими елементами існуючих (найбільш поширених) СРЕ є АКБ і ДГУ [10]. Основними недоліками існуючих систем СРЕ (АКБ+ДГУ) є неоптимальні режими експлуатації як АКБ, так і ДГУ в складі цих систем. В результаті, як правило, відбувається профілактична заміна АКБ і/або ДГУ в СРЕ до реальної вироблення ресурсу [9].

Ще одним недоліком АКБ є практична неможливість визначення реального терміну служби. Акумулятори починають «працювати» з моменту виготовлення. Для всіх типів акумуляторів виробники вказують «гарантований» термін служби. Разом з цим, цей термін забезпечується при дотриманні певних умов зберігання, транспортування і експлуатації [10]. За цих умов склалася практика превентивної заміни АКБ через 3-4 роки для акумуляторів з паспортним терміном служби до 10-15 років. Така практика цілком виправдана тому в СРЕ акумулятори експлуатуються в укрain «неоптимальному режимі» [14]. Відсутність природного циклу заряд-розряд, неможливість забезпечити рекомендовані струми заряду-розряду, можливість порушення кліматичних умов експлуатації тощо [11]. Серйозною проблемою для АКБ в СРЕ є повторне відключення живлення після розряду батареї і переході на живлення від ДГУ. (Для АКБ, розрахованої на роботу 4-8 годин час заряду становить 10-16 годин). В цьому випадку перемикання на використану батарею неможливо і відбувається перемикання на ДГУ.

Повторення такого режиму призводить до перехідних процесам, які можуть стати причиною виходу з ладу елементів СРЕ [11].

Значна частина інстальованих СРЕ включають АКБ з оптимальним робочим температурним діапазоном (+18 - +23) ° С. Це означає, що для підтримки такого температурного режиму необхідні додаткові витрати електроенергії для живлення кондиціонерів. В режимі живлення від АКБ - це означає, що частину своєї енергії батарея витрачає на забезпечення власного температурного режиму, а не на живлення обладнання [11].

2.1.2 Проблеми ДГУ в складі СРЕ

Проектна потужність ДГУ в складі СРЕ значно перевищує номінальну потужність обладнання, тому що при перемиканні на ДГУ необхідно забезпечити і заряд АКБ, і живлення обладнання. При цьому практично не вдається експлуатувати агрегат в оптимальному діапазоні потужностей (50-70% від номінальної потужності для більшості моделей ДГУ) [8].

ДГУ представляє собою електромеханічну систему, потребує проведення регулярних профілактичних робіт. Типова періодичність - раз в квартал. Це означає, що ДГУ - це агрегат, якій обслуговується. В цьому разі, неможливість обслуговувати решти устаткування на тому ж майданчику перестає бути істотною перевагою [11].

Єдина можливість переконатися в працездатності ДГУ – це пробний пуск. На практиці це означає, що періодично витрачаються ресурси: механічний ресурс, паливо, ресурси обслуговуючого персоналу [11].

Виявлення проблем в роботі ДГУ може зажадати ремонту/ заміни агрегату. Це означає, що на час проведення робіт по ремонту/заміни ДГУ СРЕ втрачає 100% своєї функціональності [10].

Додаткова проблема - для старту ДГУ необхідний свій власний акумулятор з усіма проблемами, супутніми режиму експлуатації АКБ з тривалими перервами [11].

2.2 СРЕ на базі водневої системи автономного енергозабезпечення

Система резервного електропостачання на ТЕ замінює собою відразу два елементи традиційних систем таких як - акумулятора і дизельного генератора. Це підвищує загальну надійність системи і виключає несприятливі режими перемикання з АКБ на ДГУ і назад [11].

Для порівняння розглянемо систему на паливних елементах з протонно-обмінної мембраною (ПЕПМ). Вибір цього типу ПЕ заснований на опрацьованості цієї технології і наявності на ринку комерційно доступних систем на базі таких паливних елементів [11].

Принцип дії системи - пряме перетворення хімічної енергії в електричну. Паливом для системи служить водень [11].

2.2.1 Переваги водневої системи

Система починає виробляти електроенергію після надходження палива (водню). Час автономної роботи системи визначається тільки запасами палива. Перемикання на живлення від резервної ПЕ системи при зникненні магістрального живлення відбувається миттєво [11].

Система водневого енергозабезпечення є практично не потребує постійного обслуговування (заміна повітряних фільтрів - раз в 2 роки). Система не вимагає підтримки особливого мікроклімату. Система не створює забруднення довкілля (продуктом реакції є вода). Висока енергетична ефективність системи [11] (типові значення ККД -60%).

Висновки до розділу

Таким чином переваги реалізації водневої системи на паливних елементах з металогідридним накопичувачем привертають все більше увагу. Так як цю систему з легкістю можна використовувати як в промисловому виробництві, так і для житлових будівель. Він безпечний для довкілля, не токсичний. Чи не несе жодної загрози людині та тваринам. Водень без проблем

транспортується і зберігається в металогідридної накопичувачі, не побоюючись за життя.

РОЗДІЛ 3
РОЗРАХУНОК АВТОНОМНОЇ СОНЯЧНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВЛЕННЯМ
ПРИВАТНИЙ БУДИНОК, ЯКИЙ НЕ ПІДКЛЮЧЕНИЦ ДО
МЕРЕЖІ

3.1 Параметри та розташування, обсяг споживання об'єкту

Для розрахунку автономної СЕС яка буде забезпечувати необхідну потужність У цій роботі розглядався приватний будинок який знаходиться у с. Піщане. Географічні данні показані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1- Координати та реюим роботи будинку

| Об'єкт | Географічна точка (с. Піщане) | | Режим роботи |
|-------------------|-------------------------------|-----------|--------------|
| | Ширина | Довгота | |
| Приватний будинок | 49.128773 | 33.416889 | Цілий рік |

Розрахунок АФЕС

1. Робочий період ФЕС, тобто номери днів початку та кінця роботи станції у календарному році: початок – 1, кінець – 365.
2. Список електрообладнання, який буде забезпечувати станція, та щодобова енергія навантаження та профіль навантаження наведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Споживання електроенергії

| Найменування | п, шт | Р, Вт | Січень | | Лютий | | Березень | | Квітень | | Травень | | Червень | |
|-------------------------|----------|-------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | | | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год |
| VIDEX LED | 18 | 12 | 8 | 0,96 | 8 | 0,96 | 6 | 0,72 | 6 | 0,72 | 5 | 0,6 | 4 | 0,48 |
| Холодильник | 1 | 33,75 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 |
| Бойлер | 1 | 1500 | 2 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 |
| Телевізор | 1 | 50 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 |
| Комп'ютер | 1 | 65 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 |
| Посудомийка | 1 | 1000 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Фен | 1 | 450 | 2 | 0,9 | 2 | 1,86 | 2 | 1,86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Мікрохвильова піч | 1 | 1250 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Пилосос | 1 | 1500 | 1 | 1,5 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 |
| Утюг | 1 | 1450 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 |
| Принтер | 1 | 12 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 |
| Роутер | 1 | 5 | 24 | 0,12 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 |
| Заряд телефону | 4 | 5 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 |
| Пральна машина | 1 | 1000 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Котел | 1 | 5000 | 8 | 6 | 2 | 5 | 1 | 2,5 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Насос | 1 | 1500 | 3 | 3 | 2 | 2,5 | 1 | 2 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Разом (день), кВт год | | | 14,2310 | | 14,0000 | | 13,7600 | | 11,9000 | | 11,7800 | | 11,6600 | |
| Разом (місяць), кВт год | | | 354,65 | | 359,50 | | 352,30 | | 343,00 | | 339,40 | | 335,80 | |

Продовження таблиці 3.1

| Найменування | п, шт | Р, Вт | Липень | | Серпень | | Вересень | | Жовтень | | Листопад | | Грудень | |
|-------------------------|----------|-------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| | | | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год | t, год | Wсп, кВт год |
| VIDEX LED | 18 | 12 | 4 | 0,48 | 4 | 0,48 | 5 | 0,6 | 6 | 0,72 | 7 | 0,84 | 8 | 0,96 |
| Холодильник | 1 | 33,75 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 | 24 | 0,81 |
| Бойлер | 1 | 1500 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 | 3 |
| Телевізор | 1 | 50 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 |
| Комп'ютер | 1 | 65 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 | 4 | 0,26 |
| Посудомийка | 1 | 1000 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Фен | 1 | 450 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1,86 |
| Мікрохвильова піч | 1 | 1250 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Пилосос | 1 | 1500 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 | 0,5 | 0,069 |
| Утюг | 1 | 1450 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 | 0,2 | 0,29 |
| Принтер | 1 | 12 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 | 0,1 | 0,00096 |
| Роутер | 1 | 5 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 | 24 | 0,36 |
| Заряд телефону | 4 | 5 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 | 2 | 0,04 |
| Пральна машина | 1 | 1000 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Котел | 1 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 1 | 1 | 2,5 | 2 | 2,5 |
| Насос | 1 | 1500 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 1 | 1 | 1,2 | 2 | 2 |
| Разом (день), кВт год | | | 11,6600 | | 11,6600 | | 11,7800 | | 11,9000 | | 12,0200 | | 14,0000 | |
| Разом (місяць), кВт год | | | 335,80 | | 335,80 | | 339,40 | | 343,00 | | 346,60 | | 359,50 | |
| Разом (рік), кВт год | | | 4144,75 | | | | | | | | | | | |

На рис. 3.1 зображено візуально графік навантаження за період року.

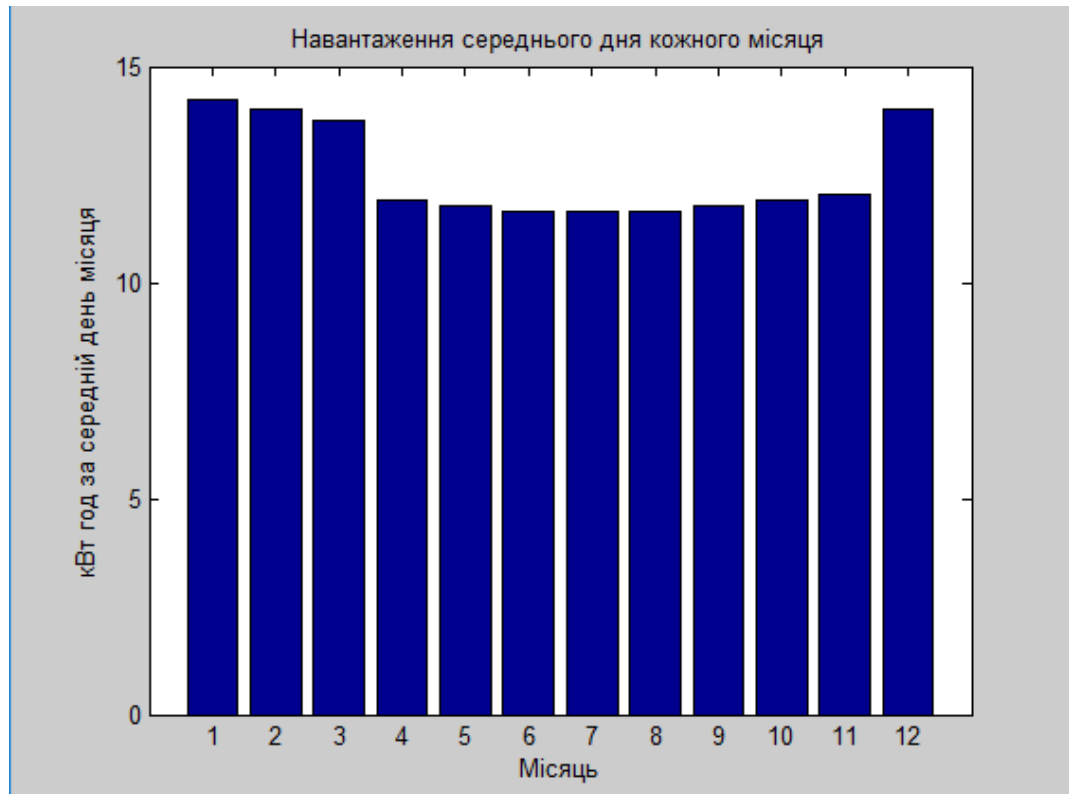


Рисунок 3.1 – Навантаження середнього дня кожного місяця

3.2 Вибір основного обладнання СЕС

Таблиця 3.2 – Електричні характеристики фотомодуля

| C&T Solar CT60275 - M | | |
|----------------------------------|----------|----------|
| Параметр | Од. вим. | Значення |
| Пікова потужність | Вт | 305 |
| СКО від макс. потужності | % | 0,39 |
| Напруга ММР | В | 30,7 |
| Струм ММР | А | 7,40 |
| Напруга холостого ходу | В | 33,1 |
| Струм короткого замикання | А | 9,72 |
| | | |
| Максимальна напруга системи | В | 1500 |
| Коефіцієнт корисної дії | % | 18,6 |

| | | |
|--|-----------------------|---------|
| Число, тип і з'єднання фотоелектричних комірок | монокристал, 60(6x10) | |
| Розмір фотоелектричних комірок | 156,75x156,75мм | |
| Число обвідних діодів | шт | 2 або 4 |
| Температурний коефіцієнт потужності | %/°C | -0,39 |
| Температурний коефіцієнт струму | %/°C | 0,05 |
| Температурний коефіцієнт напруги | %/°C | -0,39 |

Таблиця 3.3– Механічні та інші характеристики фотомодуля

| C&T Solar CT60275 - M | | |
|---|---|-------------|
| Параметр | Од. вим. | Значення |
| Розміри(довжина х ширина х товщина) | мм | 1650x992x35 |
| Вага | кг | 18 |
| Діапазон робочих температур | °C | -40...+85 |
| Тип захисного скла | 3,2 мм загартоване з низьким вмістом заліза | |
| Стійкість до навантаження під снігом і льодом | 5400 Па | |
| Стійкість до штормового вітру | 2400 Па | |

Таблиця 3.4– Характеристики інвертора

| Abi-Solar SL 5048 Duo MPPT | | |
|-----------------------------------|----------|----------|
| Параметр | Од. вим. | Значення |
| Номінальна потужність | кВт | 5 |
| Номінальна напруга АБ | В | 48 |

| | | |
|----------------------------------|-----|----------------|
| Номінальна вхідна напруга | В | 170-280/90-280 |
| Номінальна вихідна напруга | В | 230 |
| Розміри | мм | 187x295x508 |
| Вага | кг | 15 |
| Частота | Гц | 50/60 |
| ККД | % | 90 |
| Вбудований контролер заряду | | |
| Номінальна напруга | В | 230 |
| Максимальна вхідна напруга | В | 145 |
| Максимальний струм заряду | А | 60 |
| Максимальна потужність PV масиву | кВт | 6 |

3.3 Розрахунок фотоелектростанції. Встановлення кількості фотоелектричних панелей. Послідовне та паралельне з'єднання

$$N_{\Sigma} = N_{nc} \cdot N_{np} \quad (2.10)$$

$$I_{cuc} = N_{np} \cdot I_{\phi} \quad (2.11)$$

$$P_{cuc} = N_{\Sigma} \cdot P_{\phi} \quad (2.12)$$

$$P_{cuc} = U_{cuc} \cdot I_{cuc} \quad (2.13)$$

$$P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi}, \quad (2.14)$$

де N_{nc} – кількість послідовно з'єднаних ФМ,
 N_{np} – кількість паралельно з'єднаних ФМ,
 N_{Σ} – сумарна кількість ФМ в системі,

U_6 – напруга в точці максимальної потужності,

U_{cuc} – вихідна напруга системи (напруга системи постійного струму),

I_6 - струм в точці максимальної потужності,

I_{cuc} - вихідний стум системи,

P_{cuc} - потужність системи,

P_6 - номінальна потужність однієї фотобатареї.

Так як дана встановлена потужність сонячної електростанції та номінальну потужність однієї фотобатареї, можна знайти кількість фотобатарей

$$N_{\Sigma} = \frac{P_{cuc}}{P_6} = \frac{16000}{305} = 42 \text{ шт.}$$

Кількість послідовно з'єднаних ФМ:

$$N_{nc} = \frac{U_{cuc}}{U_6} = \frac{230}{30,7} \approx 6 \text{ шт.}$$

Напруга системи постійного струму є вхідною напругою інвертора.

Приймаємо $U_{cuc} = U_{инв} = 230 \text{ В}$. Тоді,

$$N_{nc} = \frac{U_{инв}}{U_6} = \frac{230}{30,7} \approx 6 \text{ шт.}$$

Кількість паралельно з'єднаних ФМ:

$$N_{np} = \frac{N_{\Sigma}}{N_{nc}} = \frac{51}{8} \approx 7 \text{ шт.}$$

Розрахувавши навантаження і генерацію панелей можна побудувати графік (рис 3.2)

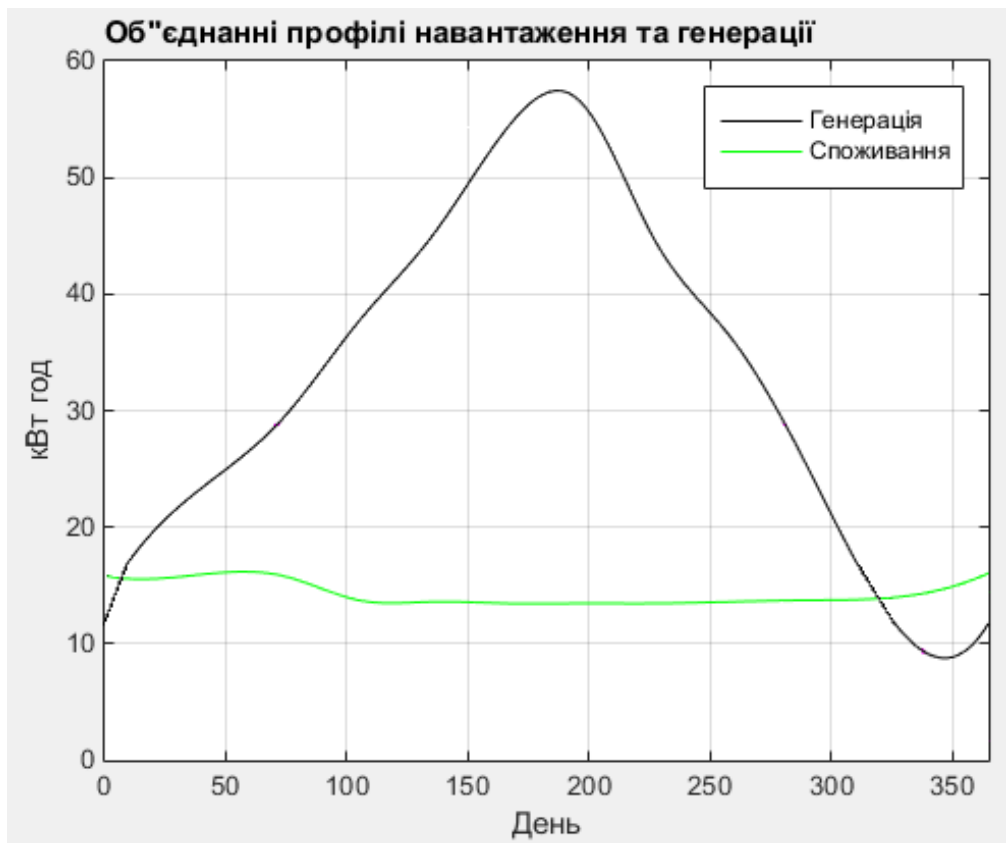


Рисунок 3.2 – Об'єднані профілі навантаження та генерації

Висновки до розділу

Можна побачити, що є періоди коли генерації СЕС не достатньо для покриття навантаження споживача. Для того щоб забезпечити безперебійне постачання електроенергії в автономній системі— нам необхідна система акумулювання, для цього може бути виконана воднева система акумулювання.

РОЗДІЛ 4

СТАРТАП

4.1 Основа мета стартап-проекту

Так як при автономній роботі сонячної електростанції є періоди, коли генерації СЕС не достатньо для покриття навантаження споживача. Для того щоб забезпечити безперебійне постачання електроенергії в автономній системі— нам необхідна система акумуляування, для цього може бути виконана воднева система акумуляування. В таблиці 4.1 описання стартап-проекту, що розробляється

Таблиця 4.1 – Описання ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї | Напрямок застосування | Вигоди для користувача |
|--|--|--|
| Забезпечення безперебійного електропостачання для автономного споживача, завдяки водневого акумуляування, на базі генерації електроенергії від СЕС | <ul style="list-style-type: none">- Автономне забезпечення приватних будинків- Для резервного використання споживачами всіх категорій- Масштабування системи для забезпечення мережі | <ul style="list-style-type: none">- Надійність- безперебійне постачання електроенергії- Система водневого енергозабезпечення є практично не потребує постійного обслуговування (заміна повітряних фільтрів - раз в 2 роки).- Система не вимагає підтримки особливого мікроклімату.- Система не створює забруднення довкілля (продуктом реакції є вода). |

4.2 Комплектація та вибір основного обладнання для водневої накопичувальної системи

У складі автономної гібридної установки енергозабезпечення на базі водневої електростанції даної системи входять:

- генератор водню;
- модуль на паливних елементах;
- інвертор (перетворювач напруги в ~ 220 Вольт);
- металогідридний накопичувач.

Модуль на паливних елементах Dantherm Power (рис. 4.1 - 4.2) потужністю 5 кВт. Середня ціна паливного елемента складає.



Рисунок 4.1- Модуль на паливних елементах Dantherm Power DBX5000



Рисунок 4.2 - DBX 5000 інстальований в стійці, в закритому приміщенні
Технічні характеристики паливного елемента наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Технічні характеристики паливного елемента

| | |
|---|---|
| Потужність | 5000 Ватт |
| Вихідна напруга | 47-53 В |
| Вхідна напруга | 90 – 264 / 50-60 Гц |
| Тиск на вході в блок клапанів | 5 бар |
| Тривалість роботи на одному балоні з урахуванням використання 40 літрового балона | 1,22 год |
| Вимоги до навколишньої температури | -0° до +40°С (опціонально - 20° до +50°С) |
| Вимоги до вологості | 5-95% без конденсату |
| діапазон висоти | до 3000м над рівнем моря |
| Тип охолодження | повітряний |
| Наявність шкідливих викидів | немає |
| Споживання водню | 3,75 літрів у хв |

Генератор водню ЦветХром-16 (рис. 4.3)



Рисунок 4.3 - Генератор водню

Технічні характеристики генератора наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики генератора водню

| | |
|--------------------------------|---|
| Продуктивність | 16 л / год |
| Чистота водню | 99,999% |
| живлення | 220/50 В / Гц |
| Потужність макс. | 250 Вт |
| Габарити | 43x49x19 см |
| маса | 17 кг |
| Обсяг води, що заливається | 1л |
| Умови експлуатації | всередині вентильованих приміщень, температура від 5 ° С до 30 ° С, відносна вологість <80% |
| Діапазон вихідного тиску водню | 1,5-6,1 атм |

| | |
|--|----------|
| Час встановлення робочого режиму не більше | 30 хв |
| Витрата дистильованої води | 0,01 л/г |
| Середній термін зміни катриджу | 1 рік |

Металогідридний накопичувач водню BL-25 (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Металогідридний накопичувач водню BL-25

Технічні характеристики накопичувача наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики металогідридного накопичувача

| | |
|-------------|-----|
| Об'єм, л | 20 |
| Тиск, атм | 5 |
| Довжина, мм | 147 |
| Маса, гр | 307 |

Розрахуємо необхідний об'єм водню для резервного забезпечення

Нам необхідно забезпечити резервною електроенергією будинок 4 місяці на рік це сумарно становить 1425,95 кВт год.

Максимальне сумарне споживання електроенергії на добу становить 14,231 кВт·год. Отже, щоб забезпечити споживача необхідною кількістю енергії нам необхідно 3 модуля на паливних елементах Dantherm Power DBX5000 потужність 5 кВт·год

Витрата водню для генерації потужності становить 3,75 л/год

$$V_{H_2} = n_{\text{пе}} \cdot 2 \cdot V_6 \cdot n_m = 3 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 4 = 480 \text{ л}$$

Визначимо необхідну кількість накопичувачів

$$n_n = V_{H_2} \div V_6 = 480 \div 20 = 24 \text{ шт}$$

4.3 Техніко-економічний розрахунок

В табл. 4.5 наведено розрахунок витрат які будуть на накопичувальну водневу станцію

Таблиця 4.5 – Техніко-економічний розрахунок

| № | Виробник | Найменування | Ціна | К-сть | Разом |
|---|-----------------|--|--------|-------|---------|
| 1 | Dantherm | Модуль на паливних елементах Dantherm Power 5000 | 412500 | 3 | 1237500 |
| 2 | ЦветХром | Генератор водню ЦветХром-16 | 51000 | 1 | 51000 |
| 3 | Fuel Cell Store | Металогідридний накопичувач водню BL-25 | 23632 | 6 | 141792 |

Загальні витрати складають 1430292 грн.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

1. Загальні положення

1.1. Дія інструкції поширюється на всі підрозділи підприємства.

1.2. Інструкція розроблена на основі ДНАОП 0.00-8.03-93 "Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві", ДНАОП 0.00-4.15-98 "Положення про розробку інструкцій з охорони праці", ДНАОП 0.00-4.12-99 "Типове положення про навчання з питань охорони праці", ДНАОП 0.00-1.07-94 "Правил будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском", "Правил пожежної безпеки в Україні".

1.3. За даною інструкцією робітник інструктується перед початком роботи на підприємстві (первинний інструктаж), а потім через кожні 3 місяці (повторний інструктаж). Результати інструктажу заносяться в "Журнал реєстрації інструктажів з питань охорони праці", в журналі після проходження інструктажу повинен бути підпис особи, яка інструктує, та робітника.

1.4. Власник повинен застрахувати робітника від нещасних випадків та професійних захворювань. В разі пошкодження здоров'я з вини власника, він (робітник) має право на відшкодування заподіяної йому шкоди.

1.5. За невиконання даної інструкції робітник несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

1.6. До обслуговування балонів допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання за спеціальною програмою, атестовані і мають посвідчення на право їх обслуговування, вступний інструктаж з охорони праці та інструктаж на робочому місці.

1.7. Періодична перевірка знань робітників, які обслуговують балони, проводиться не рідше 1 разу в 12 місяців.

1.8. Позапланова перевірка знань проводиться:

- при переході на інше підприємство;
- в разі внесення змін в інструкцію по режиму та безпечному обслуговуванню балонів;

- на вимогу інспектора Держнаглядохоронпраці або відповідального по нагляду за технічним станом та експлуатацією балонів.

1.9. У разі перерви в роботі по обслуговуванню балонів понад 12 місяців робітник після перевірки знань повинен перед допуском до самостійної роботи пройти стажування.

1.10. Допуск до самостійного обслуговування балонів оформляється наказом по підприємству.

1.11. Інструкція з безпечного обслуговування балонів повинна бути видана на руки під розписку або вивішена на робочому місці.

1.12. Робітник, який обслуговує балони повинен:

1.12.1. Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку.

1.12.2. Пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та безпеку товаришів по роботі.

1.12.3. Вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків.

1.12.4. Вміти користуватись первинними засобами пожежегасіння.

1.12.5. Утримувати робоче місце в чистоті і порядку.

1.12.6. Дотримуватись правил експлуатації, транспортування та зберігання балонів.

1.13. Балони повинні мати вентиля, щільно вкручені в отвори горловини або у витратно-наповнювальні штуцери у спеціальних балонів, що не мають горловини.

1.14. Балони для стиснених, зріджених і розчинених газів місткістю більше повинні бути забезпечені паспортом.

1.15. На балони місткістю понад повинні встановлюватися запобіжні клапани. При груповому встановленні балонів допускається встановлення запобіжного клапана на всю групу балонів.

1.16. Бокові штуцери вентилів для балонів, які наповнюються воднем та іншими горючими газами, повинні мати ліву різьбу; а для балонів, які наповнюються киснем та іншими негорючими газами, - праву різьбу.

1.17. Кожний вентиль балонів для вибухонебезпечних горючих речовин, шкідливих речовин 1 і 2-го класів небезпеки повинен бути забезпечений заглушкою, яка накручується на боковий штуцер.

1.18. Вентилі в балонах для кисню повинні вкручуватись із застосуванням ущільнювальних матеріалів, загоряння яких в середовищі кисню виключається.

1.19. На верхній сферичній частині кожного металевого балона повинні бути вибиті (чітко видні) такі дані:

- товарний знак підприємства-виготовлювача;
- номер балона;
- фактична маса порожнього балона (кг): для балонів місткістю до включно - з точністю до , понад 12 до включно - з точністю до ; маса балонів місткістю понад указується відповідно до нормативної документації (НД) на їх виготовлення;
- дата (місяць, рік) виготовлення і наступного опосвідчення;
- робочий тиск (Р), МПа (кгс/см²);
- пробний гідравлічний тиск (П), МПа (кгс/см²);
- місткість балонів, л: для балонів місткістю до включно – номінальна; для балонів місткістю понад 12 до включно – фактична з точністю до ; для балонів місткістю понад - відповідно до НД на їх виготовлення;
- клеймо відділу технічного контролю (ВТК) підприємства-виготовлювача круглої форми діаметром (за винятком стандартних балонів місткістю понад);
- номер стандарту для балонів місткістю понад .

1.20. Висота знаків на балонах повинна бути не менше , а на балонах місткістю - не менше .

1.21. Маса балонів, за винятком балонів для ацетилену, вказується з урахуванням маси нанесеної фарби, кільця для ковпака і башмака, якщо такі передбачені конструкцією, але без маси вентиля і ковпака.

1.22. На балонах місткістю до або товщиною стінки менше паспортні дані можуть бути вибиті на пластині, припаяній до балона або нанесені емалевою чи олійною фарбою.

1.23. Балони для розчиненого ацетилену повинні бути заповнені відповідною кількістю пористої маси і розчинника за стандартом. За якість пористої маси і за правильність наповнення балонів відповідальність несе підприємство, яке наповняє балон пористою масою. За якість розчинника і за правильне його дозування відповідальність несе підприємство, яке здійснює заповнення балонів розчинником. Після заповнення балонів пористою масою і розчинником на його горловині вибивається маса тари (маса балона без ковпака, але з пористою масою і розчинником, башмаком, кільцем і вентилям).

1.24. Написи на балони наносять по обводу на довжину не менше $1/3$ обводу, а смуги - по всьому обводу, причому висота літер на балонах ємністю понад має бути , а ширина смуги - .

Розміри написів і смуг на балонах ємністю до повинні визначатися в залежності від величини бокової поверхні балонів.

1.26. Фарбування балонів і написи на них можуть виконуватися масляними, емалевими або нітрофарбами. Фарбування наново виготовлених балонів і нанесення написів здійснюється підприємствами-виготовлювачами, а під час експлуатації - наповнювальними станціями або випробувальними пунктами. Маркірування та фарбування неметалевих балонів повинні проводитися у відповідності до ТУ на балон.

1.27. Головні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які діють на робітника, який обслуговує балони:

- загазованість робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони;
- порушення правил транспортування балонів;
- порушення правил зберігання балонів;

1.28. Робітники, які обслуговують балони, забезпечуються спецодягом:

- комбінезон бавовняний;

- рукавиці брезентові;
- черевики кожані;
- взимку додатково: куртка та брюки бавовняні на теплій підкладці.

2. Опосвідчення балонів

2.1. Опосвідчення балонів, за винятком балонів для ацетилену, включає:

2.1.1. Огляд внутрішньої і зовнішньої поверхні балонів.

2.1.2. Перевірку маси і місткості.

2.1.3. Гідравлічне випробування.

Перевірка маси і місткості безшовних балонів ємністю до включно і понад , а також зварних балонів, незалежно від місткості, не проводиться.

2.2. При задовільних результатах підприємство, на якому проведено опосвідчення, вибиває на балоні своє клеймо круглої форми діаметром , дату проведеного і наступного опосвідчення (в одному ряду з клеймом). Результати технічного опосвідчення балонів ємністю понад заносяться в паспорт балонів. Клейма на балонах в цьому випадку не ставляться.

2.3. Результати опосвідчення балонів, за винятком балонів для ацетилену, записуються особою, яка проводила опосвідчення балонів, у журнал випробувань.

2.4. Огляд балонів для ацетилену повинен здійснюватися на ацетиленових наповнювальних станціях не рідше, ніж через 5 років, і складатися із:

2.4.1. Огляду зовнішньої поверхні.

2.4.2. Перевірки пористої маси.

2.4.3. Пневматичного випробування.

2.5. Стан пористої маси в балонах для ацетилену повинен перевірятись на наповнювальних станціях не рідше, ніж через 24 місяці.

При задовільному стані пористої маси на кожному балоні повинні бути вибиті:

2.5.1. Рік і місяць перевірки пористої маси.

2.5.2. Клеймо наповнювальної станції.

2.5.3. Клеймо (діаметром із зображенням літер Пм,), що засвідчує перевірку пористої маси.

2.6. Балони для ацетилену, які наповнені пористою масою, під час опосвідчення випробовують азотом під тиском 3,5 МПа (35 кгс/м²).

Чистота азоту, який застосовується для випробування балонів, повинна бути не нижче 97% за об'ємом.

2.7. Результати опосвідчення балонів для ацетилену заносять в журнал випробувань.

2.8. Огляд балонів здійснюється з метою виявлення на їх стінках корозії, тріщин, вм'ятин та інших пошкоджень (для визначення придатності балонів до подальшої експлуатації). Перед оглядом балони мають бути ретельно очищені і промиті водою, а в необхідних випадках промиті відповідним розчинником або дегазовані.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

До складу автономної гібридної установки енергозабезпечення на базі водневої електростанції будить входити:

- один генератор водню;
- три модуля на паливних елементах;
- один інвертор;
- один акумулятор;
- шість металогідридних накопичувача.

Встановлено, що розроблена автономна система енергопостачання на базі водневої сумарною вартістю основних витратних елементів ВСЕС, згідно з розрахунками теперішнього часу, склала 1430292 грн, при розрахунковому терміні служби більше 20 років .

Враховуючи, що реалізація водневої системи накопичення на паливних елементах з металогідридним накопичувачем водню, для перетворення хімічної енергії в електричну переваги є достатньо дорогою, на сьогоднішній день, привертає все більше увагу. Так як цю систему з легкістю можна використовувати як в промисловому виробництві, так і для житлових будівель. Водень безпечний для довкілля, не токсичний. Також не несе жодної загрози людині та тваринам. Водень без проблем транспортується і зберігається в металогідридному накопичувачі, не побоюючись за життя.

При досягненні дешевої технології отримання та перетворення водню в електроенергії, можна буде в найшвидший період відмовитися від традиційної енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hassan Moghbelli , Abolfazl Halvaei Niasar. Conversion of Gasoline Vehicles to CNG Hybrid Vehicles (CNG-Electric Vehicles) [Text] / Hassan Moghbelli etc. – Science: vol. 6(13), 2013. – p.p. 2332-2338 (<https://doaj.org/article/1f6f85ec4f304bd6bdae196e419d880f>)
2. Habib Ullah, M., T.S. Gunawan, Sharif M. Raihan and RizaMuhida. Development of a electrically inspired low emission microcontroller based hybrid vehicle [Text] / Habib Ullah etc. – Science: vol. 9 (10), 2012. – p.p. 1729-1735,
3. G. Adinarayana, Ch. Ashok Kumar, M. Ramakrishna. Fabrication of hybrid petroelectric vehicle [Text] / G. Adinarayana etc. – Science: Vol. 4, Issue 10 (Part- 6), October 2014, pp.142-144,
4. Nereida Carrión, Miguel Murillo, Héctor Rodríguez, José Chirinos and Dorfe Díaz. Study of the fundamental plasma parameters by HG ICP-OES with adual hydride generation system [Text] / Nereida Carrión etc. – Science: vol. 6(3), 2011. – p.p. 61-68, количество знаков с пробелами (8054),
5. W. Bendaikha, S. Larbi, B. Mahmah and M. Belhamel. Experimental study of the production of solar hydrogen in Algeria. [Text] / W. Bendaikha etc. – Science: vol. 2(1), 2010. – p.p. 192-202, количество знаков с пробелами (8013),
6. Amal Nassar, Eman Nassar. The design of a low-cost device for the production of hydrogen [Text] / Amal Nassar etc. – Science: vol. 13(25), 2014. – p.p. 158-165, количество знаков с пробелами (8024),
7. O. V. Marchenko and S. V. Solomin. Economic Efficiency Assessment of Autonomous Wind/Diesel/Hydrogen Systems in Russia [Text] / O. V. Marchenko etc. – Science: vol. 8(4), 2013. – p.p. 2314-2317,
8. Morten B. Ley , Mariem Meggouh , Romain Moury , Kateryna Peinecke and Michael Felderhoff. Development of Hydrogen Storage Tank Systems Based on Complex Metal Hydrides [Text] / Morten B. Ley etc. – Science: vol. 8(9) ,
9. Scott McWhorter , Kathleen O'Malley , Jesse Adams , Grace Ordaz , Katie Randolph and Ned T. Stetson. Moderate Temperature Dense Phase Hydrogen Storage Materials within the US Department of Energy (DOE) H2 Storage Program:

- Trends toward Future Development [Text] / Scott McWhorter etc. – Science: vol. 2(1) , 2012. – p.p. 413-445,
10. Ewa C. E. Rönnebro , Greg Whyatt , Michael Powell , Matthew Westman , eng (Richard) Zheng 1 and Zhigang Zak Fang. Metal Hydrides for ighTemperature power Generation [Text] / Ewa C. E. Rönnebro etc. – Science: vol.
11. Сравнение существующих систем резервного электропитания: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forumhouse.ru/entries/639/> (Дата обращения: 18.10.2017).
12. Паливний элемент <https://www.recycledgoods.com/dantherm-dbx5000-4000710-5kw-hydrogen-fuelcell-battery-extender-generator-as-is>
20. Генератор водню URL: <https://tiu.ru/p38051475-generator-vodoroda-tsvethrom.html>
21. Накопитель водню: <http://www.fuelcellstore.com/bl-20-metal-hydride> (Дата
22. Haoxiong Nan, Xinlong Tian, Lijun Yang. A Platinum Monolayer Core-Shell Catalyst with a Ternary Alloy Nanoparticle Core and Enhanced Stability for the Oxygen Reduction Reaction [Text] / Haoxiong Nan, Xinlong Tian etc. – Science: <https://doaj.org/article/00607afc920745d6895a9b5db88b414d>)
23. Чурилов Г. Н., Осипова И. В. Новые направления наноматериаловедения [Электронный ресурс] / Чурилов Г. Н. // Учебно-методическое пособие. – 2013. – Режим доступа: <http://kirensky.ru/zdoc/newnano.pdf> .
24. Тарасов Б.П., Фурсиков П.В. Разработка и создание водородной системы [Электронный ресурс] / Тарасов Б.П // Отчет о научных исследованиях. – 2014 http://www.icp.ac.ru/mediastore/FILES/Shirshova/Dokumenty/FTSP/14.604.21_otchet_1etap.pdf
25. Aqsa Yousaf, Muhammad Nawaz Tahir , Abdul Rauf, Shafique Ahmad Awan, Saeed Ahmad Crystal structure of catena-poly[Text] / Aqsa Yousaf etc. – Science: vol. 71(3), 2015. – p.p. 2056-9890 (<https://doaj.org/article/000e355fb0824f98922f2f7eb9e5b7a7>)
27. Moumita Dutta, Utpal Kumar Biswas, Runu Chakraborty, Piyasa Banerjee, Utpal Raychaudhuri, Arun Kumar. Evaluation of plasma H₂S levels and H₂S

- synthesis in streptozotocin induced Type-2 diabetes-an experimental study based on *Swietenia macrophylla* seeds[Text] / Moumita Dutta etc. – Science: vol. 4(S1), 2014. – p.p. 2221-1691
(<https://doaj.org/article/002c66e9e3f04955b6152279de7a21ad>)
28. T. Niewierowicz, E. Campero, R. Escarela, I. López–García. Parameter Sensitivity of High–Order Equivalent Circuit Models Of Turbine Generator [Text] T. Niewierowicz etc. – Science: vol. 11(11), 2010. – p.p. 101-111,
(<https://doaj.org/article/153923499a09492aa93cbe46e6e4206f>)
29. Bormann R., Jaramillo–Vigueras D., Klassen T., Martínez–Franco E. Hydrogen Sorption Properties of the Intermetallic Mg₂Ni Obtained by Using a Simoloyer Ball Milling [Text] Bormann R etc. – Science: vol. 11(3), 2010. – p.p.
(<https://doaj.org/article/248999a092b74f29a1d30d2c143a6f63>)
30. Angeles-Camacho C., Bañuelos-Ruedas F. Incorporation of a Wind Gen erator Model into a Dynamic Power Flow Analysis [Text] Angeles-Camacho C. etc. – Science: vol. 12(3), 2011. – p.p. 311-320, количество знаков с пробелами (6113), (<https://doaj.org/article/06ef30275fde47d58f7e19c215da98c5>)